

平成 19 年度  
農学研究科修士論文

播種溝形状，土壤条件が湛水直播水稻の  
生育，収量に及ぼす影響

宇都宮大学大学院農学研究科  
生物生産科学専攻  
MA064101 君嶋 治樹

## 目次

緒言	1
第1章 播種溝形状、土壌硬度が水稻の出芽・苗立ちに及ぼす影響	3
目的	3
材料と方法	3
結果	7
考察	19
第2章 播種溝形状、土壌硬度が湛水直播水稻の生育、収量に及ぼす影響	21
目的	21
材料と方法	21
結果	24
考察	44
第3章 有機栽培管理における再生紙マルチ直播栽培の検討	46
目的	46
材料と方法	46
結果	50
考察	63
総合考察	64
要旨	66
Abstract	67
謝辞	68
引用文献	69

## 緒言

現在、わが国では水稻栽培において移植栽培が普及しているが、高齢化や担い手不足による労働力の減少、コメの販売価格の低下といった現代の農業経営を考えると、慣行の移植栽培に代わるような低コストで省力的な栽培技術の確立が早急に必要とされている。低コストかつ省力的な栽培技術として水稻直播栽培が注目されているが、出芽、苗立ちの不安定、鳥害、雑草害、倒伏などの問題点があるため、未だ技術が普及されるまでには至っていない。出芽、苗立ちの不安定は播種深度を深くすると種籾が出芽する際に必要な酸素が十分に供給されないために起こるが、逆に播種深度を浅くすると根張りが弱くなるため、転び苗や浮き苗の増加による苗立ち率の低下や稲体の地上部が大きくなるにつれ重心が高くなり倒伏しやすくなる。そこで、酸素供給剤として過酸化石灰を種籾に粉衣し深播きすることで、出芽、苗立ちの安定化と倒伏の軽減を図る湛水土中直播栽培法が注目された。萩原ら（1990）は湛水土壌中に播種した過酸化剤を用いた被覆籾近傍で局所的で急激な土壌還元が起こり、出芽率低下の有力な原因となることを報告している。酸素供給剤の粉衣以外の出芽向上技術として、播種後から苗立ち揃い期まで落水することで土壌中に多くの酸素を供給させる落水出芽法（柳澤 1996）は湛水による保温効果よりも落水による酸素補給効果を優先することにより、出芽苗立ちの安定化、増収を図っている。作溝を行いつつ溝底に無覆土播種して苗立ちを向上させ、自然覆度によって倒伏抵抗性を付与する作溝直播栽培（松村ら 1993）など、過酸化石灰剤を使用しない様々な直播栽培が多くの研究者によって研究されており、直播栽培の問題点の出芽、苗立ちの不安定は改善されてきている。以上のことから、低コストな栽培技術である水稻の直播栽培が過酸化石灰粉衣籾を使用せずに、現在の移植栽培で多く作付けされているコシヒカリなどの食味優良品種が毎年安定した収量が確保され、多収であれば、農家の所得も増え、作業時間の軽減も可能になるであろう。

出芽、苗立ちが不安定となる要因として、種子予措、播種深度、土壌構造、土壌硬度、土壌水分、酸素、温度、鳥害などが挙げられる。播種から収穫までの管理を一括して行う稲作にとって、出芽、苗立ちが不安定であるとその後の生育、収量に影響が現れやすく、収穫期の生育程度が不均一になることは低収につながるために出芽、苗立ちの安定化を図る必要がある。酸素供給剤を使用せずに苗立ち率の上昇を狙う幾通りかの栽培法の中で、先に挙げた作溝直播栽培は播種後に無覆土とするため酸素の供給が有利なこと、大型の播種機を導入せずとも播種が可能であるため低コストであることから有望な栽

培法である。加えて、播種後から苗立ち揃い期まで落水管理とする落水出芽法を組み合わせることで、より種籾や土壌中への酸素が供給でき、資材コストを抑えられると考えられる。また、作溝直播栽培において作溝した際の播種溝の形状は、種籾近傍の環境が変化をあたえ、酸素供給、自然覆土の程度、播種深度、幼根の伸長などに影響を及ぼす。しかし、播種溝の形状と種籾の出芽、苗立ちとの関係について研究された例は未だ少ない。このことから、出芽、苗立ちの安定化、またその後の生育、収量への改善効果を目的として、湛水直播栽培での様々な播種溝に播種したときの出芽、苗立ち、生育、収量、およびその際の作溝作業や自然覆度に影響のある土壌硬度との関連についても検討する必要がある。

また、近年では消費者の食への安全性の関心が高まってきており、水稻栽培においても有機栽培が注目されている。しかし、本田へ直接種籾を播種するため雑草との競合が不利となる直播栽培では、除草剤を使用できない有機栽培管理下で収量を確保するのは非常に困難であるとされている。ところで、雑草を抑制するために移植栽培で使用されている再生紙マルチは、除草剤を使用したのと同程度の抑草効果が得られるという報告がある（小林ら 1995）。これを、再生紙マルチ直播シートを水田に敷設する方法で直播栽培に導入した例（山内 2001）があり、この栽培法ならば有機直播栽培の実現への可能性を持っていると期待できる。そのため、再生紙マルチ直播シートでの有機栽培による苗立ち、生育、収量について検討する必要がある。

そこで本研究では、過酸化石灰剤を粉衣せずにはと胸状態に催芽した籾を用い、作溝直播栽培での播種溝が水稻生育に及ぼす影響の基礎的知見を得る目的で、異なる播種溝形状、土壌硬度、土壌条件下での出芽、生育および収量への影響について検討した。また、再生紙マルチシートを用いた有機直播栽培が実現可能であるかを検証するため、その出芽、生育、収量性についても上記の作溝直播栽培とあわせて比較、検討を行った。

## 第1章 播種溝形状、土壤条件が水稻の出芽・苗立ちに及ぼす影響

### 目的

出芽、苗立ちは、播種後の環境に影響を受けやすく、施肥や耕起、代掻きなどの播種前管理や水管理、播種方式、播種深度、覆土の有無などによって播種された種籾付近の土壤環境は変化し、出芽、苗立ちの良し悪しに関わることになる。この章では、湛水作溝直播栽培において、異なる播種溝形状や土壤硬度、土壤の種類が水稻の出芽、苗立ちに及ぼす影響を検討した。

### 材料と方法

#### 1) 圃場試験 (播種溝形状、土壤硬度について)

##### 気象条件

天候は宇都宮大学農学部附属農場にて2006年と2007年の試験期間中の日平均気温をYokogawa Denshikiki 社製の観測機を用いて毎日観測した。

##### 播種、栽培管理

試験は宇都宮大学農学部附属農場（栃木県真岡市）内厚層多腐植質アロフェン黒ボク土水田で2006年と2007年に実施した。供試品種にコシヒカリを用いた。試験圃場は堆肥を2t/10a連年施用している圃場である。堆肥は牛ふん、落葉、籾殻、稲藁、米ぬかを材料とした完熟堆肥で、両年とも3月上旬にマニュアルスプレッターを用いて施用した。基肥は化成肥料（N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O：10-18-16）40kg/10aを2006年は5月9日、2007年は5月8日に全面施肥し、いずれの試験区においても前年度の稲藁は土壤に還元した。種籾は両年とも比重1.13の塩水選を行い風乾した後、60℃10分間温湯消毒催芽機（湯芽工房 TIGER KAWASIMA CO. LTD.）により種子消毒をし、流水で5日間浸種した。その後30℃12時間で催芽処理（湯芽工房）を行った。はと胸状にした催芽籾を前日に代かきをした試験圃場に2006年は5月11日に3.2kg/10a、2007年は5月12日に3.4kg/10aをそれぞれ4条播きの歩行型条播機（YAMMAR 社製）を用いて播種した。両年とも播種後は無覆土としたまま一時湛水とし、2週間程度落水管理とした。その後再び湛水し、初期除草剤として播種2週間後にキックバイ粒剤（明治製菓）を1kg/10a、播種4週間後にシーゼットフロアブル液剤（住友化学）を10/10a、殺虫剤として播種3週間後にトレ

ボン粒剤（クミアイ化学工業）を 2kg/10a を散布した。また、苗立ちが揃うまで圃場内 5m 間隔で縦横および畦畔沿いにつり糸を設置し、鳥害対策を施した。

### **試験区の構成**

2006 年と 2007 年の圃場試験の試験区の構成を第 1 表および第 2 表に示した。2006 年は播種時の土壌硬度で 2 種、播種溝の形状で 2 種の計 4 種の処理区を各 5a 設け、2007 年には播種溝形状のみの処理区として 4 種の処理区を設け、各 2.5a とした。土壌硬度については、代かき後の落水期間を変えることによって播種時の土壌硬度に差を生じさせ、Hard（硬）と Soft（軟）に区別した。播種溝の形状については、2006 年は播種溝の断面が V 字型でさらにくびれが入った形状で溝幅を 2.5 cm に固定し、溝深を 1.5 cm のもの（Shallow）と 3.5 cm のもの（Deep）を供試した。2007 年は溝深 1.0 cm、溝幅 1.0 cm で播種溝の断面が V 字型の Small L V 区（以下 S V 区とする）、06 年圃場試験の Deep 型と同じ形状の D V 区、溝深 3.0 cm、溝幅 2.0 cm で断面が U 字の溝型底部が尖った形状の区（以下 U 区）、溝深 4.5 cm、溝幅 5.0 cm で断面が V 字型の Large V 区（以下 L V 区）の 4 形状で試験を行った。2006 年、2007 年の圃場試験に使用した播種溝形状の断面図は第 1 図および第 2 図の通りである。なお、それぞれの播種溝は歩行型条播機の播種口の前部に溝を切るように設置し、作溝したものである。

### **調査項目**

#### **土壌硬度**

土壌硬度は、代かき落水後の播種直前に田面から 1m の高さからゴルフボールを落下させ、その埋没したゴルフボールの田面からの露出高を測定し、播種時の土壌硬度の指標とした（澤村 1986）。各試験区で 10 箇所について 2006 年は 3 反復、2007 年は 1 反復でゴルフボールの露出高の測定を行った。

#### **苗立ち調査**

苗立ち調査は 2006 年は 6 月 8 日、2007 年は 6 月 7 日に行った。両年とも各試験区からなるべく偏りのないよう 40 箇所を選出し、60×60 cm の枠内で正常に苗立ちした健苗の個体数を計測し苗立ち数とした。また、2007 年は同時に転び苗、浮き苗の個体数も計測した。幼苗が基部から 45 度以上倒れているものを転び苗とし、基部が土壌から完

全に浮遊しているものを浮き苗とした。苗立ち率はこの苗立ち数を枠内の播種粒数で割ったもので、その平均から苗立ち率を算出した。

## **2) ポット試験 (播種溝形状, 土壌条件について)**

### **播種, 栽培管理**

出芽試験は 2006 年の 9 月中旬から 11 月中旬にかけて行った。供試品種としてコシヒカリを用いた。附属農場内のビニルハウス内で行い、34×54×20cm のプラスチックコンテナに粉碎した土壌を深さ 15 cm に充填した。播種前日に土壌の充填したコンテナを潤土状態にして、手作業で代かきを行った。播種直前に手製の木材にてコンテナ内に各条に 30 cm の播種溝を作溝し、試験 1 と同処理した催芽籾を 9 月 20 日に播種溝底部に播種した。播種密度は 1 条 30 cm に等間隔で 30 粒であり、各コンテナで 4 条を作溝した。水管理として播種後に 3 cm 程度の湛水とし、その後は 2~3 cm の湛水が維持されるよう灌水を行った。

### **試験区の構成**

土壌の種類と播種溝形状によって設定した 2006 年のポット試験の試験区を第 3 表に示した。コンテナに充填した土壌については、附属農場の黒ボク火山灰土壌と栃木県二宮町の一般農家圃場の沖積土壌である。附属農場の黒ボク土壌は圃場試験にて供試した圃場と同一土壌であり、堆肥を 2t/10a 連年施用している。栃木県二宮町の沖積土壌は慣行の水稻栽培が行われていた圃場である。附属農場の黒ボク土壌、栃木県二宮町の沖積土壌ともに 2006 年 4 月上旬に基肥の化成肥料を投入する前に本田から採取してきたものがある。

各試験区の播種溝の形状の断面図については第 3 図に示した。2007 年の圃場試験に用いた V 1 区、2006 年の圃場試験の Shallow 区と同じ形状の V 2 区、溝幅 2.0cm、溝深 2.0cm の断面が U 字型の溝に播種する U 1 区、溝幅 2.0cm、溝深 2.0cm の断面が溝深 1cm から V 字になる溝型に播種する U 2 区の 4 形状であり、それぞれの播種溝形状の断面図の概要は第 3 図に示した通りである。したがって、異なる土壌を用いたことで 2 処理、さらに異なる作溝形状に播種することで 4 処理の計 8 処理の試験区を設定した。

## **調査項目**

### **出芽率**

出芽率は、播種後 3, 5, 7, 10, 12 日目に各試験区 3 反復で、それぞれの日に出芽している個体を積算でカウントし、播種量から算出した。

### **初期生育調査**

初期生育調査は播種 4 週間後の 10 月 18 日および 8 週間後の 11 月 16 日に行った。その後の生育むらにならないようにそれぞれの時期に 10 個体ずつを等間隔に抜き取って各試験区 3 反復で調査を行った。播種 4 週間後の生育調査では苗立ち率、草丈、葉数、種子の土壤埋没程度、第 2 葉鞘長を、播種 8 週間後の生育調査では草丈、葉数、種子の土壤埋没程度、分げつ体系をそれぞれ調査した。苗立ち率は播種 4 週間後の抜き取り前に出芽率と同じ方法で算出した。種子の土壤埋没程度は種子から土壤中に埋没していたと思われる基部の白色部までを測定し、分げつ体系は各節からの分げつの発生率を調査した。



## 結果

### 1) 圃場試験 (播種溝形状、土壌硬度について)

#### 気温

2006年および2007年の試験期間中の旬別日平均気温を第4表に示した。2006年と2007年の5月上旬から6月上旬の平均気温はほぼ同程度であった。

#### 土壌硬度

2006年の圃場試験でのゴルフボールの田面からの露出高を第5表に示した。2006年はゴルフボールの露出高がHard区とSoft区でそれぞれ2.8cmと1.5cmであり、Hard区で顕著に高い傾向を示した。2007年は1.8cmと2006年のSoft区と同程度かやや硬い土壌硬度であった。

#### 苗立ち率

2006年および2007年の圃場試験での苗立ち数を第4図に示した。2006年は播種後まもなくに鳥による食害に遭い苗立ち率に影響があったものみられ、特にHS、HD区では両区とも顕著に低い値となった。播種時の土壌硬度での比較では、苗立ちの著しく悪かったHard区に比べSS区、SD区でそれぞれ高く、Soft区で優れる傾向を示した。一方、播種深度の差による苗成ちはHS、HD間およびSS、SD間で差はほとんど見られなかった。2007年は鳥害の被害程度も少なく、前年に比べ各処理区で良好な苗成ちであった。苗成ち数はSV区>DV区>LV区>U区の順であり、特にSV区において他の区よりも高い傾向があった。2007年の苗成ち率、苗成ち数、転び苗および浮き苗数を第6表に示した。苗成ち率に関しては苗成ち数と同様な結果となった。また、出芽したが転び苗、浮き苗となった個体数は苗成ち数とは逆にSV区で最も多くなったため、正常苗成ち数/全苗成ち数は各処理間で差はみられなかった。

### 2) ポット試験

#### 出芽率

2006年ポット試験の播種溝の形状の違い、土壌の違いによる種子の出芽率の推移を第5図に示した。黒ボク土壌での播種溝の形状の違いによる出芽率の推移は、播種後3日目の早い段階でV1区>U1区>V2区>U2区の順となり、各処理間で開きがあっ

たが播種後 5 日目にはその差はなくなった。最終的にはU 2 区が最大となったものの、各処理間での差はあまりみられなかった。沖積土壌での播種溝の形状の違いによる出芽率の推移を見ると、播種後 3 日目はV 1 区>V 2 区>U 2 区>U 1 区となり最も差がみられたが、その後最も高かったのはV 1 区で、次いでV 2 区であった。最終的な出芽率は黒ボク土壌と同様にいずれの区においても差はなかった。また、供試した両土壌での最終的な出芽率に差はあまり見られなかったが、播種後 3~5 日の初期の段階では沖積土壌は黒ボク土壌に比べて出芽が良好となったために出芽揃いが早かった。

### 初期生育

2006 年ポット試験の播種後 4 週間後と 8 週間後の土壌、播種溝形状別にまとめた初期生育の結果をそれぞれ第 7 表に示した。播種 4 週間後の生育結果では、草丈、葉数について各処理区のいずれにおいても有意な差はなかった。第 2 葉鞘長は、沖積土壌間でU 1、U 2 区でV 1 区、V 2 区よりも有意に大きな結果となった。また両土壌間では、草丈、葉数において沖積土壌で高い傾向がみられたが、第 2 葉鞘長の差は見られなかった。8 週間後の生育結果も 4 週間後での結果と同様に草丈、葉数は有意な差はなく、また沖積土壌区で黒ボク土壌区よりも高かった。1 次分げつ発生率については、第 2 葉で両土壌ともV 1 区、V 2 区で高くなる傾向を示した。第 3 葉からの分げつ発生は各処理間で差はみられなかったものの、第 5 葉は沖積土壌区ではいずれも分げつ発生がみられなかった。

### 種子土壌埋没程度

第 8 表に播種 4 週間後および 8 週間後の種子の土壌埋没程度を示した。播種 4 週間後では黒ボク土壌で沖積土壌よりも種子の土壌埋没程度が大きく、沖積土のV 1 区では有意に小さくなった。また両土壌ともにU 1 区、U 2 区が大きい傾向であった。播種 8 週間後では両土壌間での土壌埋没程度の差はなくなった。また、黒ボク土壌では播種 4 週間後と同様にU 1 区とU 2 区が、沖積土壌ではU 2 区が大きい傾向を示した。

第 1 表 2006 年の圃場試験区の構成.

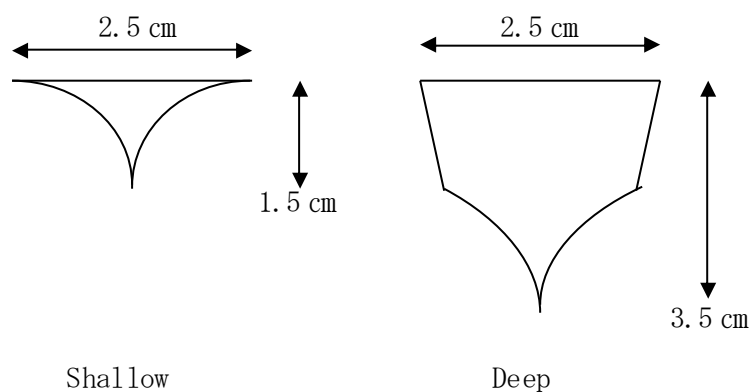
試験区	土壌硬度	播種溝	溝深 (cm)	溝幅 (cm)
H S 区	Hard	Shallow	1.5	2.5
H D 区	Hard	Deep	3.5	2.5
S S 区	Soft	Shallow	1.5	2.5
S D 区	Soft	Deep	3.5	2.5

供試品種： コシヒカリ

播種量： 催芽籾 3.2kg/10a

基肥： 化成肥料 (10-18-16) 40kg/10a

牛ふん堆肥 2t/10a



第 1 図 播種溝の各形状の断面図 (2006 年圃場試験)

第2表 2007年の圃場試験区の構成.

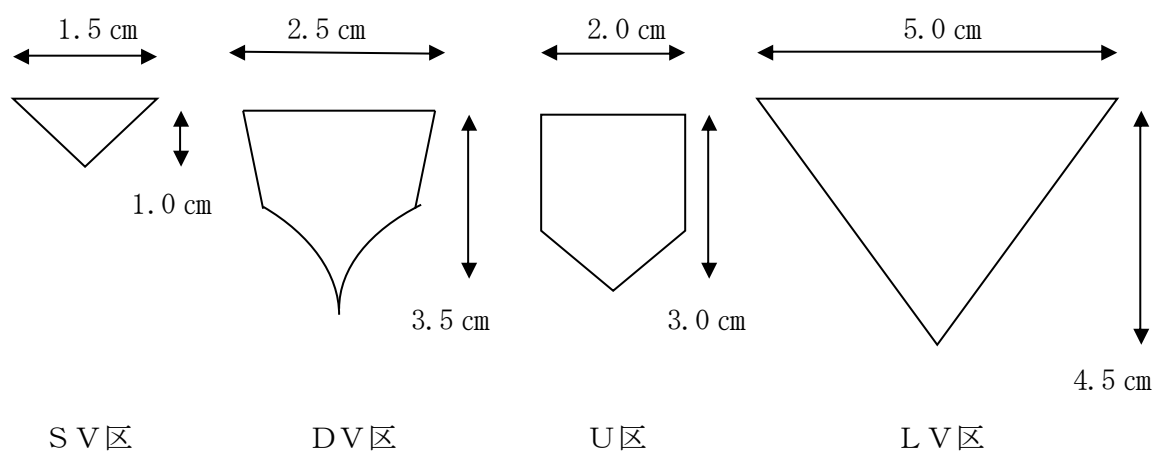
試験区	播種溝	溝深 (cm)	溝幅 (cm)
S V	V字型 Small	1.0	2.0
D V	V字型 くびれ	3.5	2.5
U	U字型 溝底凹	3.0	2.0
L V	V字型 Large	4.5	5.0

供試品種： コシヒカリ

播種量： 催芽籾 3.4kg/10a

基肥： 化成肥料 (10-18-16) 40kg/10a

牛ふん堆肥 2t/10a



第2図 播種溝の各形状の断面図 (2007年圃場試験)

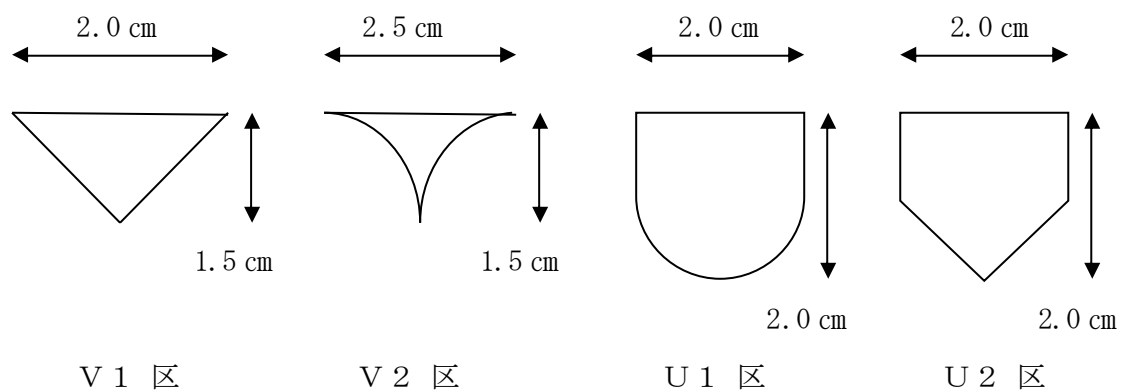
第3表 2006年のポット試験区の構成.

試験区	播種溝の形状	溝幅	溝深	供試土壌
黒 V 1	V字型	2.0cm	1.5cm	黒ボク土
黒 V 2	V字型 くびれ	2.5cm	1.5cm	黒ボク土
黒 U 1	U字型	2.0cm	2.0cm	黒ボク土
黒 U 2	U字型 溝底凹	2.0cm	2.0cm	黒ボク土
沖 V 1	V字型	2.0cm	1.5cm	沖積土
沖 V 2	V字型 くびれ	2.5cm	1.5cm	沖積土
沖 U 1	U字型	2.0cm	2.0cm	沖積土
沖 U 2	U字型 溝底凹	2.0cm	2.0cm	沖積土

供試品種： コシヒカリ

播種密度： 条間 10cm, 1 条 30cm とし各条 30 粒播き.

播種後管理： 無覆土とし, 2~3cm の湛水を維持した.



第3図 播種溝の各形状の断面図 (数字は溝幅, 溝深を表す)

第 4 表 試験期間中の旬別平均気温.

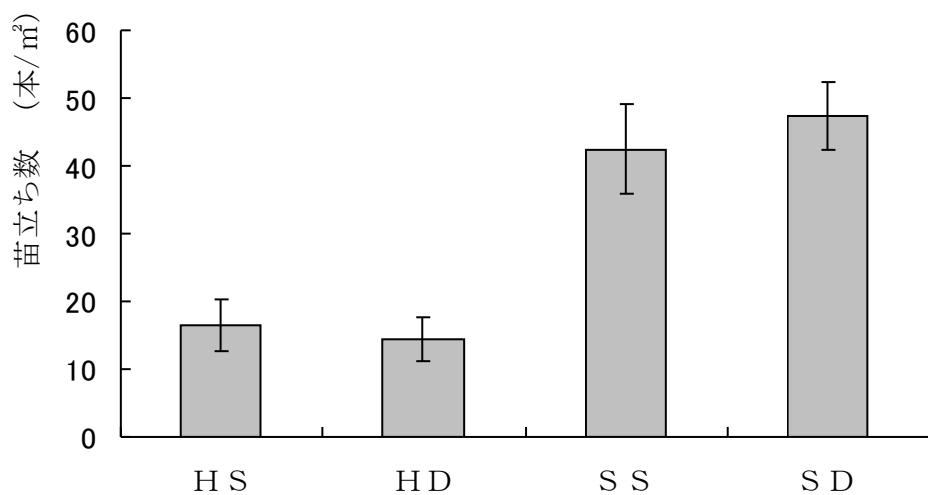
		(°C)				
		5 月	6 月	9 月	10 月	11 月
2006 年	上旬	15.6	18.5		18.1	12.9
	中旬	16.5		21.3	16.8	8.9
	下旬	18.5		19.6	15.0	
2007 年	上旬	17.2	19.3			
	中旬	16.2				
	下旬	18.0				

第 5 表 ゴルフボールの露出高.

年次	試験区	露出高 (cm)
2006	Hard	$2.8 \pm 0.5$
	Soft	$1.5 \pm 0.1$
2007	—	$1.8 \pm 0.7$

ゴルフボールの直径は 4.2 cm とし,  
田面から 1m の高さから落下させた.

2006 年



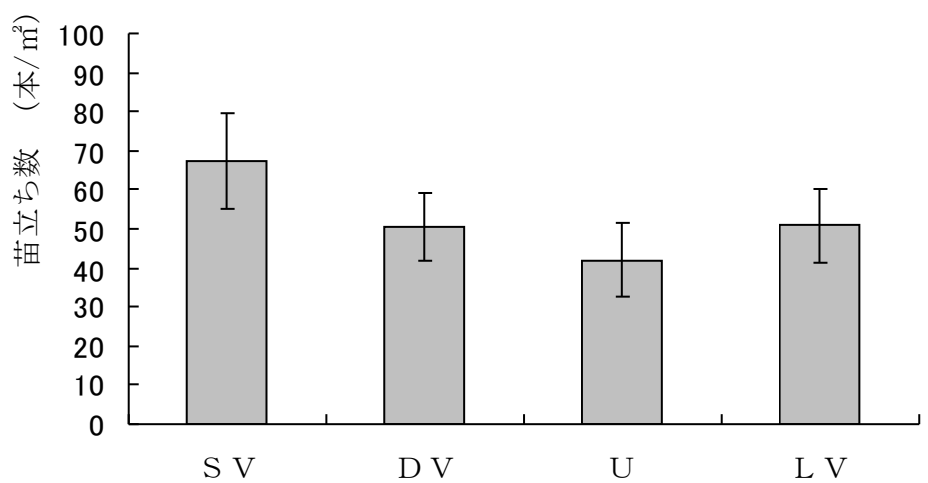
H S : Hard Shallow

H D : Hard Deep

S S : Soft Shallow

S D : Soft Deep

2007 年



S V : Small V

D V : Deep V (2006 年 Deep 区と同型)

U : U (溝底が凹)

L V : Large V

第 4 図 異なる播種溝，土壌硬度による苗立ち数の相違



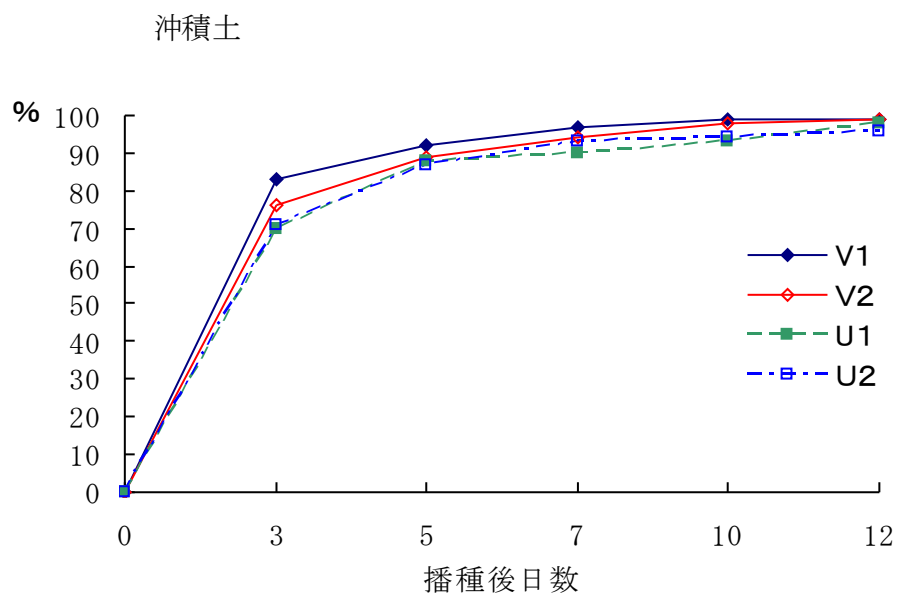
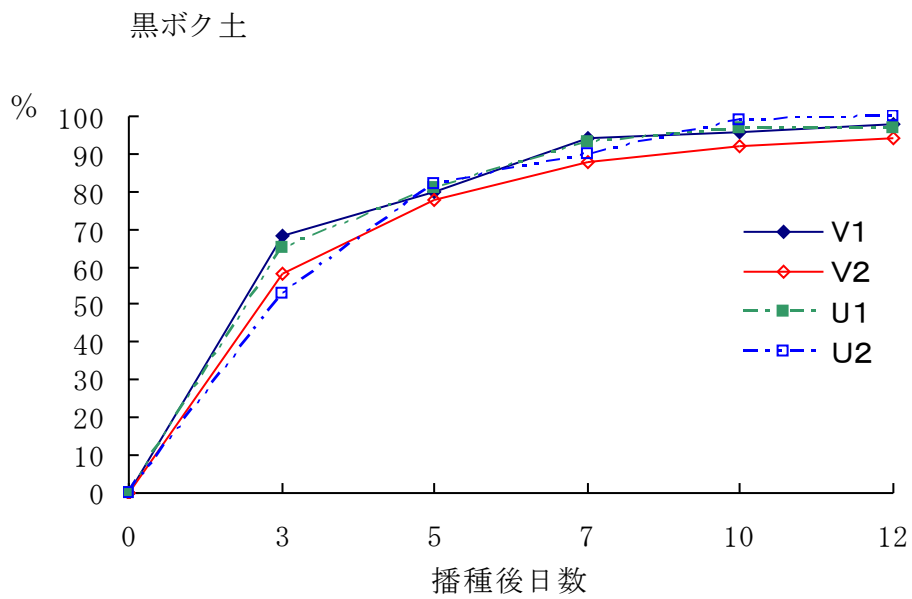
第 6 表 異なる播種溝の苗立ち率，苗立ち数，転び苗および浮き苗数.

(2007 年圃場試験)

処理区	正常 苗立ち数 (本/m <sup>2</sup> )	正常 苗立ち率 (%)	転び苗・ 浮き苗数 (本/m <sup>2</sup> )	正常苗立ち数 /全苗立ち数 (%)
S V	67.3±12.5	49.5	4.4±2.2	93.9
D V	50.5± 8.8	37.1	1.8±1.0	96.6
U	42.0± 9.3	30.9	2.3±1.3	94.8
L V	51.0± 9.5	37.5	2.0±1.2	96.2

平均値±標準誤差

6 月 7 日に調査.



第 5 図 異なる播種溝の形状による出芽率の推移  
(2007 年ポット試験)

第7表 播種4週間後および8週間後の生育調査結果.

(2006年ポット試験)

4週間後

土壌	作溝形状	草丈 (cm)	葉数	第2葉鞘長 (cm)
黒ボク土	V 1	27.3 a	4.7 a	3.6 a
	V 2	27.8 a	4.7 a	3.6 a
	U 1	27.7 a	4.6 a	4.1 a
	U 2	27.7 a	4.8 a	3.8 a
沖積土	V 1	32.0 a	5.0 a	3.4 a
	V 2	30.7 a	5.0 a	3.3 a
	U 1	31.9 a	5.0 a	3.8 b
	U 2	30.3 a	4.9 a	3.9 b

8週間後

土壌	作溝形状	草丈 (cm)	葉数	1次分げつ発生率(%)			
				第2葉	第3葉	第4葉	第5葉
黒ボク土	V 1	31.7 a	6.7 a	83	90	20	7
	V 2	32.4 a	6.7 a	83	97	37	0
	U 1	32.9 a	6.6 a	53	93	27	3
	U 2	32.4 a	6.6 a	67	83	33	3
沖積土	V 1	36.8 a	6.7 a	67	100	43	0
	V 2	37.2 a	7.2 a	83	97	53	0
	U 1	35.6 a	7.0 a	60	90	37	0
	U 2	35.2 a	6.9 a	60	93	63	0

異なるアルファベットはダンカンの多重検定において5%レベルで有意差があることを示す.

第 8 表 種子の土壤埋没程度.

土 壤	作溝形状	種子埋没程度 (mm)	
		4 週間後	8 週間後
黒ボク土	V 1	2.0 a	5.3 a
	V 2	1.9 a	4.2 a
	U 1	2.5 a	6.1 a
	U 2	2.5 a	6.9 a
沖積土	V 1	1.3 ab	6.1 a
	V 2	0.8 b	5.7 a
	U 1	1.9 a	5.6 a
	U 2	2.3 a	6.7 a

異なるアルファベットはダンカンの多重検定において 5% レベルで有意差があることを示す.

## 考察

圃場試験において、2006 年の苗立ちは鳥の飛来によって局所的な食害が起こった。2006 年は播種時の異なる土壌硬度と播種溝形状によって試験を行ったが、特に土壌の硬い区において鳥害が顕著にみられた。慣行の水稻移植栽培での代掻き後の土壌硬度はゴルフボールの露出高が 0～1cm 程度であるが望ましい（沢村 1987）とされる。今回の作溝条播栽培では、播種後に作溝形状を維持させるために移植栽培よりもやや硬めとした。ゴルフボールの露出高が 3 cm よりも高くなるほどの土壌硬度であると溝切り作業が困難となり、逆に土壌硬度が慣行の移植栽培並であると播種後に溝が維持されず種子が土壌に埋没してしまうと考えられたためである。今回、Hard 区の苗立ちは Soft 区に比べ著しく低下したことの要因として、Hard 区では土壌の硬いために播種溝中へと自然覆土が少なく、播種後しばらくの期間で種子が土壌表面に露出していたと推察された。そのため鳥害が起こりやすかったこと、また入水時の水流などにより種子が播種溝から流亡したことが挙げられる。これに対し、異なる播種溝の形状についてはその差をみることができず、今回の試験では播種溝の形状よりも土壌硬度の要因の方が大きく種子の出芽、苗立ちに影響を及ぼしたと推察された。このことから播種溝形状の違いによる出芽、苗立ちの差を明確にして検討するためにポット試験を行ったが、黒ボク土および沖積土の各形状において最終的な苗立ち数は変わらなかった。しかし、播種 3～5 日目の早い段階では V 1, V 2 区のような浅い播種溝で出芽速度が速く、U 1, U 2 区では出芽速度がやや遅れる傾向があった。これは種子の土壌埋没程度が U 1, U 2 区で大きい傾向にあったことから、覆土程度が大きくなることで種子近傍の酸素供給が他区よりも少ないために低酸素条件に陥ったと考えられた。沖積土において第 2 葉鞘長が有意に大きかったことも、播種深度が深い状況に置かれた種子が幼芽の部分を酸素条件の良い地上部へ伸長しようとしたためと思われる。早期に出芽した個体は、第 1 葉および第 2 葉抽出が早く、イネでは実質第 2 葉抽出後に光合成が開始される（三宅・前田 1973）ことを考慮すると、早期に従属栄養状態から独立栄養状態へ移行して初期生育を促進することに結びつく。逆に出芽の遅れた個体は出芽後に枯死することが多く（古畑ら 1998）、より出芽率を低めて苗立ち率を悪くすると推察される。2007 年の圃場試験においても S V 区は最も優れた苗立ちを示し、ポット試験同様に出芽時の覆土量が軽微で他の区より好気的な環境下にあったためと考えられる。ポット試験での沖積土において有意に土壌の埋没が多かった U 2 区は、圃場試験で苗立ちが劣った。これは、U 2 型は溝幅が狭く溝底が

狭くなっていることから、溝底まで種子や土壌が落ちやすかったためと考えられる。また、本試験では出芽、苗立ちにおいてS V、D V区で差をみることができず、くびれ型の優位性を得られなかった。苗立ち期以降の初期生育では、第1次分げつ発生において処理間差が現われており、第2葉および第3葉といった低位節において播種溝深の浅い区で分げつの発生が多い傾向がみられた。これについては、先に述べたように、出芽速度が高く、早期に光合成が開始されたV 1、V 2区において初期生育が促進された結果と推察され、早期に茎数を確保できるために今後の生育に向けて優位であると思われる。

出芽、苗立ちに関しては総じてV 1、V 2区で優れる傾向がみられたが、作物生産の意義を考慮するとこの試験での出芽、苗立ちが今後の水稻の生育、収量、倒伏耐性などにどのように影響していくのかを総合的に検討する必要がある。

## 第2章 播種溝形状、土壌条件が湛水直播水稻の生育・収量に及ぼす影響

### 目的

第1章では、異なる播種溝形状、土壌硬度が出芽、苗立ちに与える影響をみてきたが、作物を栽培するにあたって、最終的な目的は収量を増加させることにある。出芽の程度で個体あたりの茎数が増減し、草丈、播種深度は倒伏に関係する。倒伏程度や葉色値の低下程度などによって、1穂粒数、登熟歩合、千粒重といった収量構成要素に影響を与える。この章では、播種時の異なる播種溝形状、土壌硬度が水稻の生育、収量にどのような影響が見られるか、出芽試験でみられた結果や生育への影響は圃場試験においてもみられるのかを検討した。

### 材料と方法

#### 気象条件

天候は宇都宮大学農学部附属農場にて2006年と2007年の植物体の生育期間中の日平均気温、日降水量、日照時間をYokogawa Denshikiki社製の観測機を用いて毎日観測した。

#### 試験区の構成、栽培管理

2006、2007年ともに供試品種、試験区の構成、苗立ちまでの栽培管理は第1章の圃場試験と同じである。両年とも追肥として出穂40日前に化成肥料（N－P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>－K<sub>2</sub>O：10－18－16）を5kg/10a、出穂20日前に同化成肥料を10kg/10a施用した。

#### 調査項目

##### 生育調査

生育調査は草丈、茎数、葉数、葉色値について行った。試験区内で苗立ち後平均的な生育をしている箇所に1m×2条で調査区を設け、その中で草丈は平均的な大きさの10個体を3反復、葉数は5個体を3反復でそれぞれ2週間毎、茎数は調査区内全茎数を3反復、葉色値は10個体1反復でそれぞれ1～2週間毎に収穫期まで調査した。葉色値の測定にはミノルタ社の自動葉緑素計（SPAD502）を用い、最上展開葉の次の葉の中央部

分を測定した。

### **乾物重**

地上部器官別乾物重，葉面積，窒素吸収量については，各年とも最高分けつ期，穂揃い期，収穫期の各時期にそれぞれ調査区内の茎数から平均的な生育の個体を探し出し，調査区周辺から 6 個体ずつを 3 反復抜き取って行った。抜き取った個体は根を切除し，葉身を切り離し葉面積を測定した後，穂，葉身，葉鞘＋茎に分け，80℃で 2 日間通風乾燥後，乾物重を測定した。

### **分けつ体系，播種深度**

分けつ体系と播種深度については兩年とも最高分けつ期に乾物重のサンプリングと同様な方法で，06 年は 6 個体を 3 反復，07 年は 10 個体を抜き取り，それぞれで基部から土壤に埋没する種子までを播種深度とした長さ，各節からの分けつ発生状況，各分けつの分けつ長，およびその葉数を調査した。

### **倒伏抵抗値**

倒伏抵抗値については各年とも収穫 2 週間前に落水した圃場にて，調査区内の穂数から平均的な生育の個体を調査区周辺にて 6 個体選抜して調査を行った。2006 年は押し倒し抵抗測定器（大起理化社製）を用いて，茎部において地際から 10 cm の箇所を稲体が 45 度となるまで傾けたときの抵抗値を測定した。また，2007 年は台風の影響で早期に稲体の倒伏が発生し押し倒し抵抗値の測定が困難であったため，稲体が直立しているときの角度を 0 度，全倒伏を 90 度として，その倒伏角度を測定することで倒伏抵抗の指標とした。

### **病害調査**

病害は，葉いもち病と穂いもち病について調査した。各年とも 9 月 11 日に 1 試験区につき 40 個体を 3 地点調査した。葉いもち病は最上位展開葉から 3 葉目までのいずれかに 5mm 以上の病班のある茎を数え，穂いもち病は穂首以上に明らかな病班があり，穂が 50% 以上不稔になっている穂を数えた。



## 収量、品質

収穫時に3反復で行った。収穫日は両年とも10月5日であった。収量調査は1反復あたり1m×3条を地際から刈り取り穂数を数え、籾水分が15%を下回るまで陰干しした。その後全重、精籾重、総玄米重、精玄米重と水分含有率を測定した。粒厚1.8mm以上を精玄米とし、水分15%に換算し精玄米重とした。食味については、ケット科学研究所製の成分分析計AN-700を用いて、食味値、蛋白質含有率、蛋白質CM（乾物あたりの蛋白質含有率）、アミロース含有率、脂肪酸含有率を測定した。

## 収量構成要素、各節間長

収量構成要素は、収量調査から得られた穂数をもとに平均穂数を算出し、平均穂数を有する個体を1反復あたり10個体の平均的な穂4本を取り出し、1反復あたり20穂の籾数を数え、比重1.06の塩水で塩水選を行い、登熟籾と不稔籾とに分別し、それぞれの粒数を測定し登熟歩合を算出した。玄米千粒重は玄米20gを秤量し、その粒数から算出した。各節間長はそれぞれ長いものから1本ずつ取り出し計10本を測定した。また、収量の刈り取り時に坪刈り地点と周辺部の倒伏程度を調査し、倒伏しなかったものを0、完全倒伏したものを5として0～5の6段階で表した。

## 結果

### 気候

2006 年および 2007 年の水稻生育期間中の旬別日平均気温，降水量，日射量を第 6 図に示した．平均気温については，2007 年は 2006 年に比べ 7 月上中旬で一時低くなったもののその後は 10 月上旬まで高く推移し，水稻の生育期間の後半では気温が著しく高かった．平均降水量は，2006 年は 6 月上旬で，2007 年は 6 月中旬でそれぞれ高くなったが，梅雨の降水量は両年ともほぼ同量であった．7 月下旬から 9 月上旬までは 2007 年で高かったが，その後 9 月中旬からは 2006 年で高い傾向であった．平均日射量は 2007 年で 5 月上旬から 6 月中旬まで顕著に高く推移した．その後も 7 月下旬から 8 月下旬にかけて高くなる傾向がみられ，平均日射量は 2007 年で 2006 年を大きく上回った．また，2007 年は 9 月上旬に台風が襲来し，早期に倒伏被害が発生した．

### 水稻生育

2006 年および 2007 年の生育概要を第 9 表に示した．2006 年は 2007 年に比べ最大草丈が若干低かったものの，主稈葉数では両年とも同程度であった．最高分げつ数は 2007 年で高かったが，有効茎歩合はそれほど差はみられなかった．2006 年，2007 年ともに播種溝形状による出穂期の差はなかった．

2006 年と 2007 年の草丈の推移を第 7 図に示した．2006 年は調査を開始した 6 月 15 日から終始 S D 区が若干高く推移した．8 月上旬からは H D 区で低く推移し，最終的な草丈がやや低くなった．2007 年は直播区の調査開始日の 6 月 14 日から収穫期まで草丈の推移に差はなかった．

2006 年および 2007 年の茎数の推移を第 8 図に示した．2006 年は最高分げつ期までは S D 区，次いで H S 区が高くなり，最高分げつ期には S D 区 > H S 区 > H D 区 > S S 区の順となった．それ以降は S D 区で無効茎の発生が多くなり，最終茎数は H S 区で最大となった．2007 年は終始 S V 区が他区より高く推移した．その他 3 区は U 区で最高分げつ期にかけて若干高かった．最高分げつ期では S V 区 > U 区 > L V 区 > D V 区の順となり，特に S V 区は顕著に高かった．S V 区は最高分げつ期以降無効茎の発生が多かったが，最終茎数は最大であった．

2006 年および 2007 年の葉数の推移を第 9 図に示した．2006 年は調査期間の 6 月 15 日から 8 月 10 日まで処理による差はみられなかった．2007 年は 6 月 14 日の調査開

始日は同じであったが、6月28日に一時SV区で高かった。その後は同程度の推移を示し、最終的には処理区の差はなかった。

2006年および2007年の葉色値の推移を第10図に示した。2006年は調査開始日から最高分けつ期にかけてはHS区とSS区で高く推移した。出穂期でHS区が高くなったが最終的にはHD区で最も高い値となった。2007年では調査開始直後はSV区が高かった。7月以降から出穂期まではSV区は低く、LV区で高く推移したが、最終的にはDV区で最も高い葉色値を示した。

### 乾物生産と葉面積指数

2006年および2007年の生育期間内の地上部乾物重の推移を第10表に示した。2006年は最高分けつ期で有意にSD区で乾物重が高くなり、次いでHS区が高い傾向であった。穂揃い期も有意な差はないものの同様な推移を示した。収穫期にはHS区が有意に高くHard区で乾物重が高まる傾向がみられ、SS区で最も低くなった。2007年の地上部全乾物重は、全生育期間を通してSV区が高くなる傾向がみられた。最高分けつ期ではU区、LV区が有意に低く、穂揃期、収穫期はともに有意な差はなかったもののU区で低い傾向がみられた。最終的にはSV区>LV区>DV区>U区の順であった。

2006年および2007年の葉面積指数の推移を第11図に示した。2006年の最高分けつ期における葉面積指数は、SD区で顕著に高い値を示し、次いでHS区、SS区、HD区であった。穂揃期で各処理間の差は詰まったものの順序は変わらず推移したが、収穫期にかけてSoft2区が大きく低下し収穫期にはHS区>SD区>HD区>SS区の順となった。2007年は生育期間を通してSV区が高くDV区が低い値で推移したが、SV区での最高分けつ期の葉面積指数は特に顕著に大きかった。U区とLV区はほぼ同程度に推移した。

### 分けつ体系

2006年および2007年の分けつの発生率、草丈、葉数を第11表および第12表に示した。2006年は茎数の繁茂程度に応じてHard区ではHS区が、Shallow区ではSD区で1次分けつ、2次分けつともに発生が盛んであった。しかし、2次分けつ発生からは処理区間の分けつ体系の傾向はみられなかった。

2007年は、播種溝深が最も浅いSV区では2葉から7葉にかけて1次分けつの発生が

みられた。逆に、播種溝深の最も深いL V区では3葉から7葉に1次分げつ発生があったが、S V区に比べ上位葉での発生率が大きかった。播種溝深が深くなるのに比例して上位葉で分げつ発生が多くなる傾向がみられ、2次分げつにおいても同様にS V区からL V区にかけて分げつの発生頻度が高位に移行する傾向がみられた。

### 病害程度

2006年および2007年のいもち病発生程度をそれぞれ第13表に示した。2006年、2007年ともに全処理で病害の発生は少なかったが、2007年は2006年に比べ、葉いもち病および穂いもち病の発生茎率が高い傾向がみられた。

### 倒伏耐性

2006年の押し倒し抵抗値を第14表に示した。押し倒し抵抗値は処理間による有意差はみられなかったがDeep区で抵抗値が高くなる傾向がみられた。1穂あたりの抵抗値でも同様な傾向であった。

2007年の倒伏角度を第15表に示した。試験区間に有意差はなかったが、S V区で稈長、茎数がやや小さく倒伏が大きい傾向がみられた。

### 収量と収量構成要素

2006年の収量と収量構成要素を第16表および第17表に示した。精籾重、総玄米重、精玄米重においてHS区で他区を有意に上回った。いずれもSS区は低い値であった。また藁重でSD区、籾藁比でHS区が高い傾向がみられたが、いずれも有意な差はみられなかった。収量構成要素については穂数で処理間に有意差がみられ、HS区で多くSS区で低い値であった。1穂籾数でSD区、登熟歩合でHS区、千粒重でHS区がそれぞれ他区よりも低い傾向であったがそれぞれに有意差はなかった。

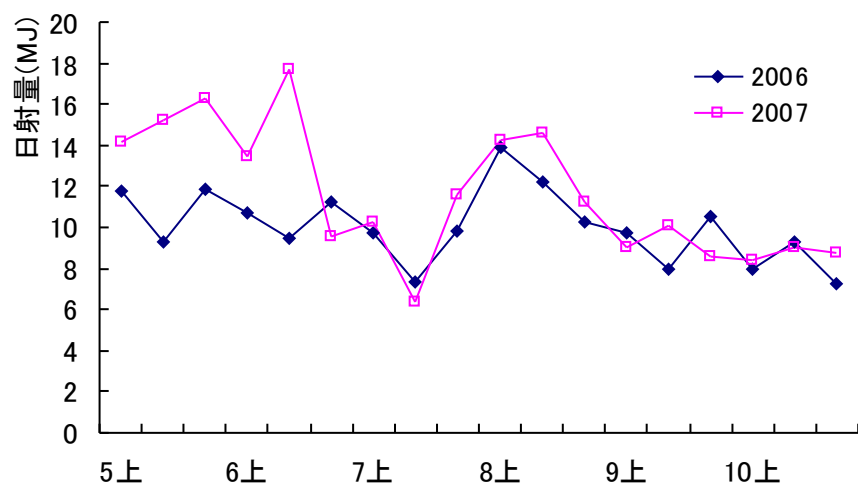
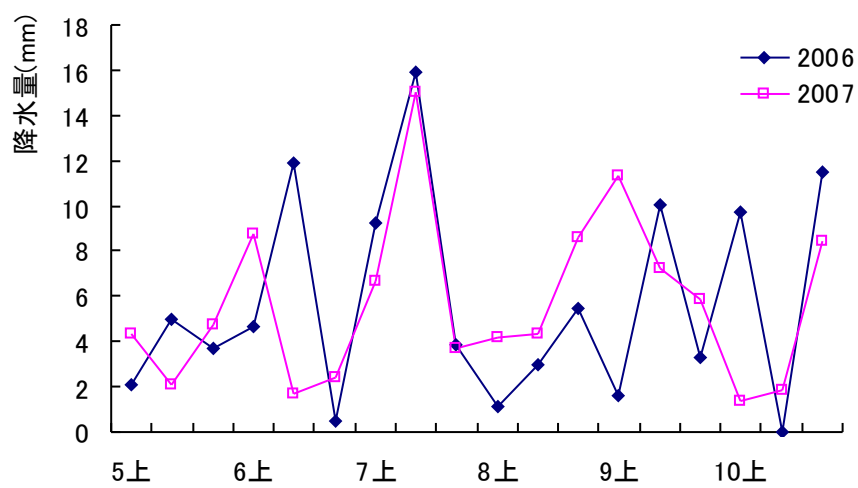
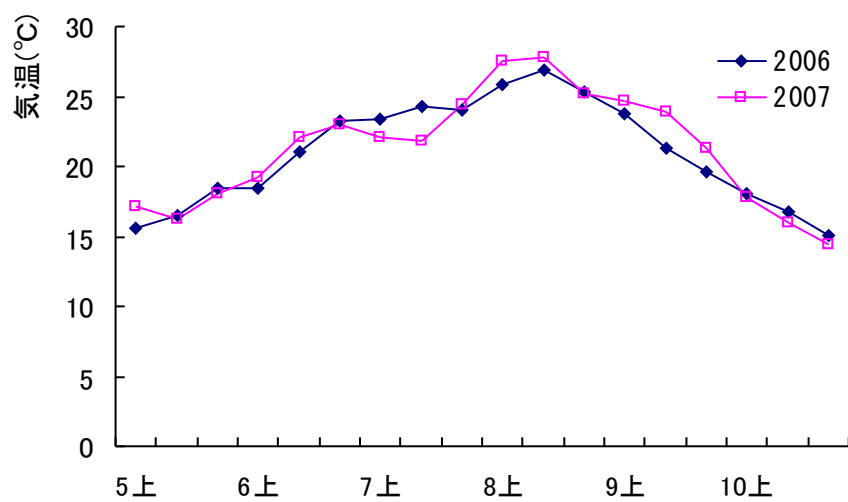
2007年の収量と収量構成要素を第18表および第19表に示した。精玄米重はS V区で最高となり、DV、L Vに比べ有意に高くなった。全風乾重、精籾重、総玄米重でS V区が大きくDV区で小さかった。収量構成要素については、S V区は穂数が他区より有意に高かったが、1穂籾数においては他区より有意に低くなった。登熟歩合、千粒重は処理間に有意な差はみられなかった。

### **穂長，稈長，節間長と倒伏程度**

2006 年および 2007 年の穂長，稈長，節間長と倒伏程度を第 20 表に示した．2006 年は，穂長では処理間の差はみられなかったが，稈長では HD 区で低い値であった．Ⅰ～Ⅵ節の各節間長ごとで比較すると，稈長の低かった HD 区では第Ⅲ節間以降の節で他区よりも低かった．2007 年は稈長が S V 区で若干低い値となった．Ⅰ～Ⅵ節の各節間長では S V 区が第Ⅳ節と第Ⅴ＋Ⅵ節において低い傾向がみられた．倒伏程度は 2006 年で Hard 区が小さく，2007 年では倒伏程度に差はなかった．また，2006 年よりも 2007 年で倒伏の大きい傾向があった．

### **食味値，蛋白含量**

2006 年および 2007 年の食味値と蛋白質，アミロース，脂肪酸含量を第 21 表に示した．2006 年は食味値で H S 区が最も高く，有意差はないが Hard 区で高い傾向がみられた．蛋白質含量では H S 区と S D 区に有意差があり，アミロースも H S 区，HD および S S 区，S D 区にそれぞれ有意差がみられた．脂肪酸含量は HD 区が最大であった．2007 年は処理間に有意な差はみられなかったが，S V 区で蛋白質含量が高い傾向がみられ食味値が劣った．



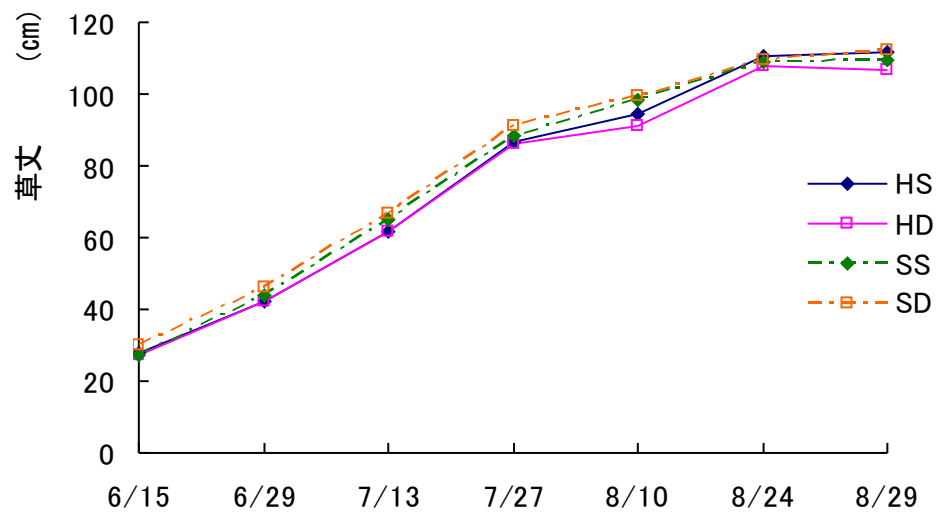
第 6 図 旬別日平均気温，降水量，日射量

第9表 生育の概要.

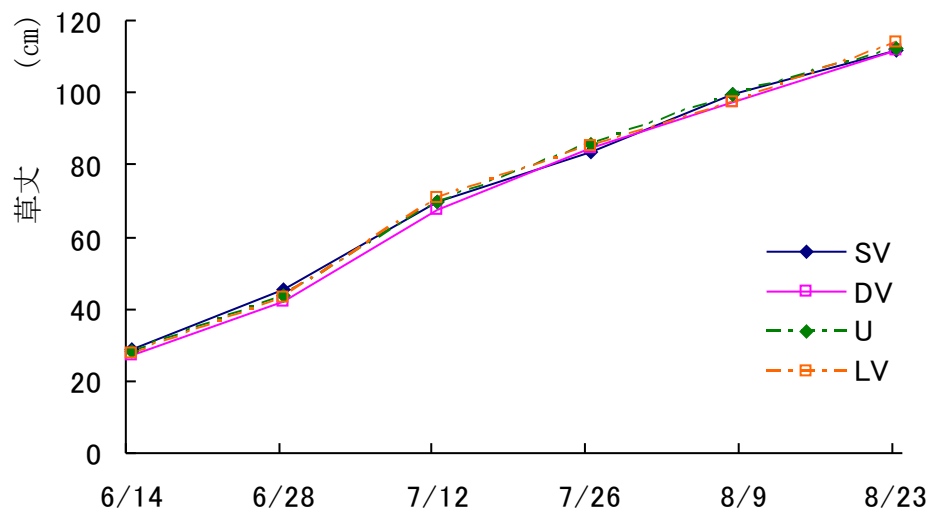
試験区	最大草丈 (cm)	苗立ち数 (本/m <sup>2</sup> )	主稈葉数	最高莖数 (本/m <sup>2</sup> )	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	有効莖 歩合 (%)	出穂日 (月. 日)
2006 年							
H S	112	17	14.9	416	287	69	8.18
H D	107	14	14.9	372	246	66	8.18
S S	110	42	14.9	342	253	74	8.18
S D	112	47	15.0	422	270	64	8.18
2007 年							
S V	112	67	14.8	591	355	60	8.17
D V	112	51	14.9	422	287	68	8.17
U	113	42	14.9	448	291	65	8.17
L V	114	51	15.0	445	312	70	8.17

生育調査区 3 地点の平均値.

2006 年



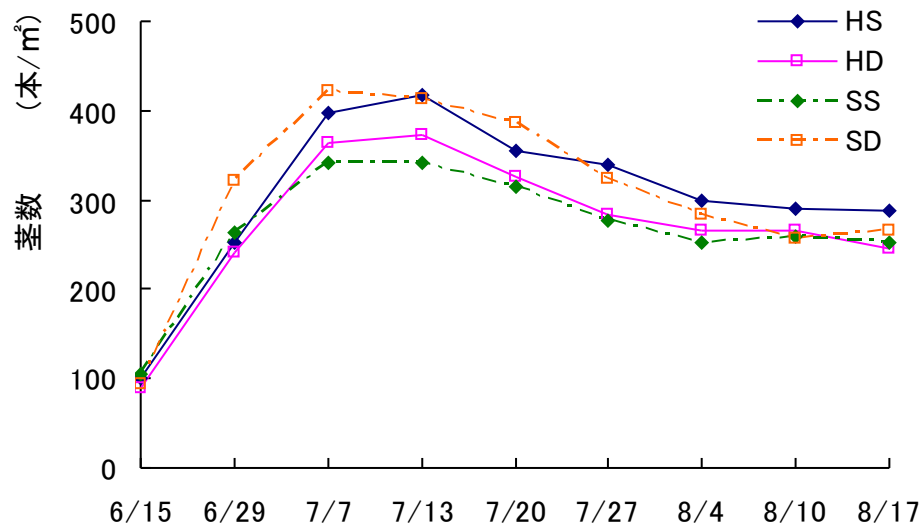
2007 年



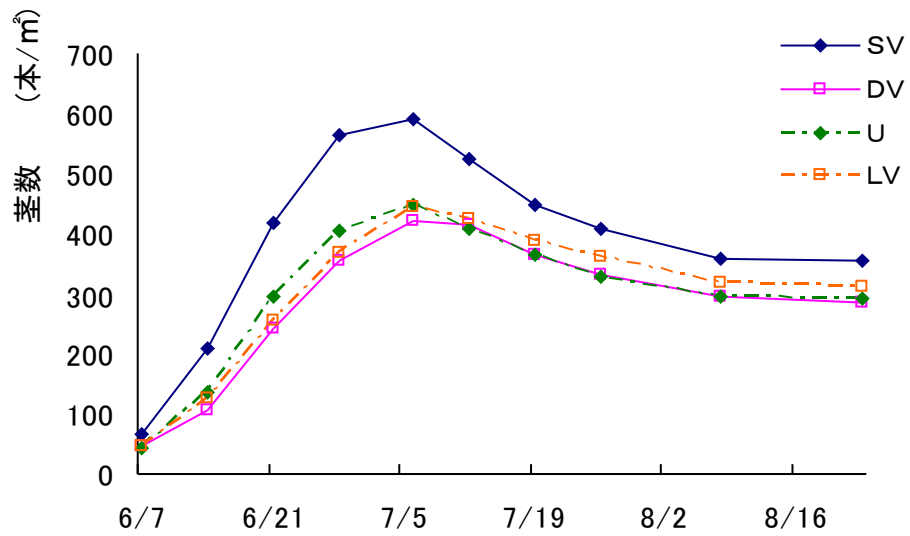
第 7 図 草丈の推移



2006 年

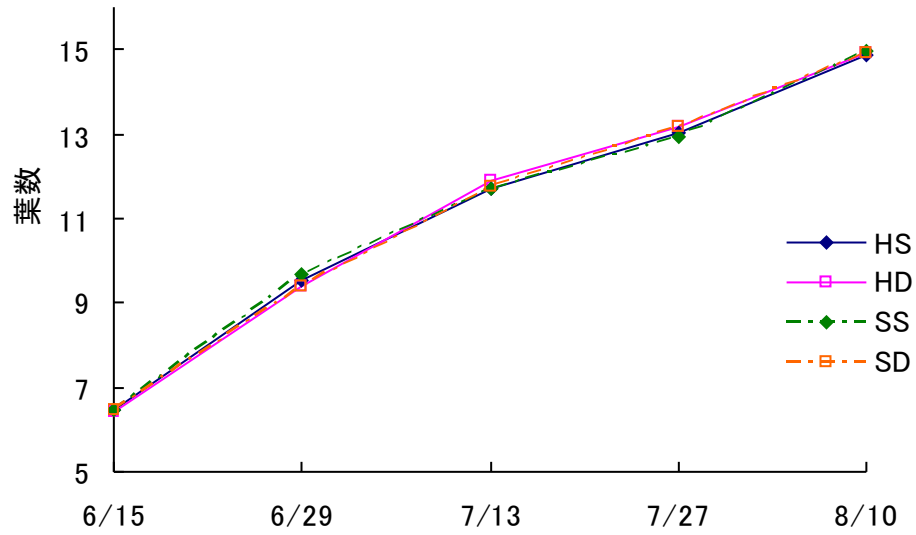


2007 年

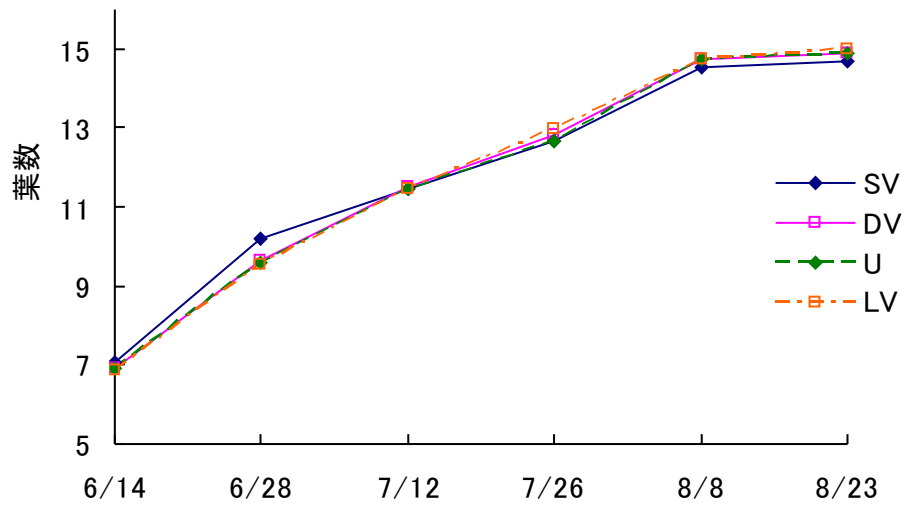


第 8 図 茎数の推移

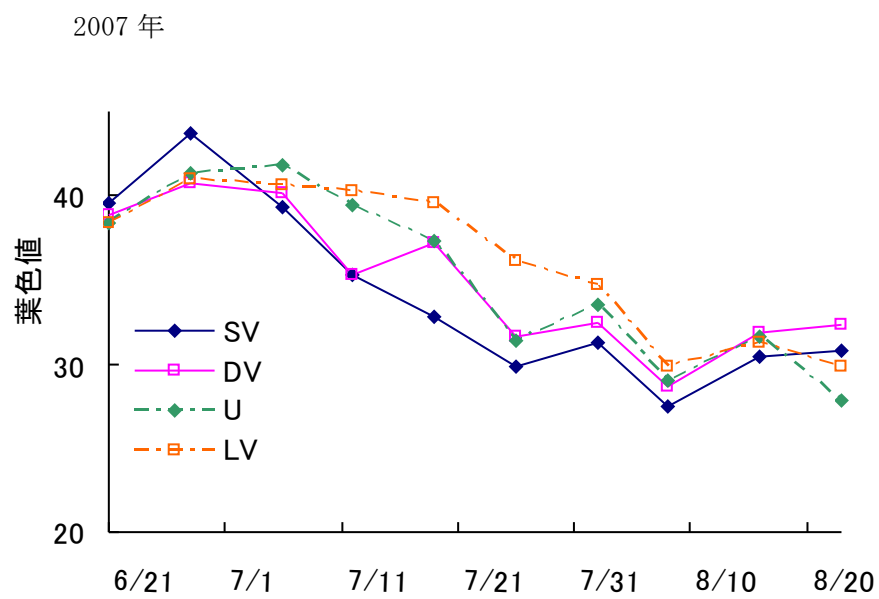
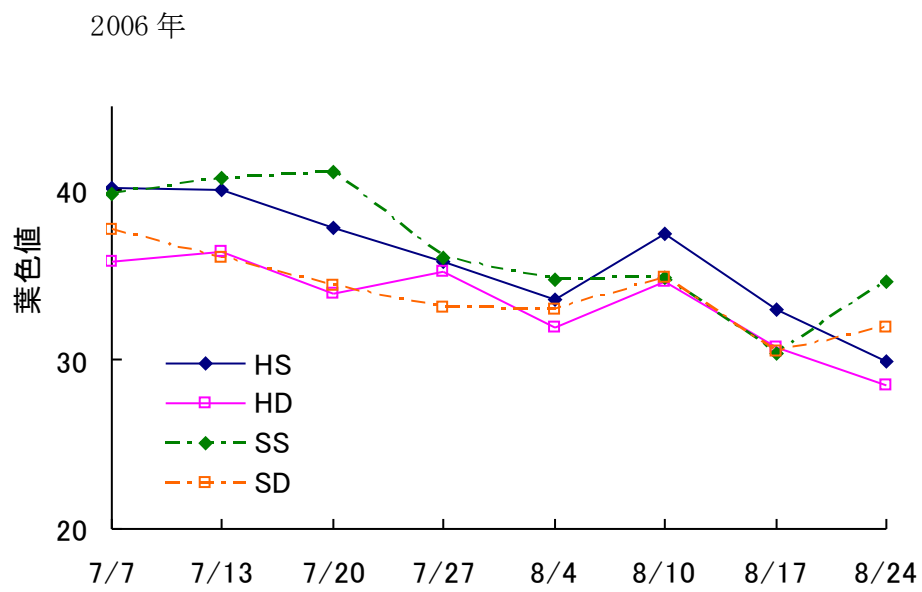
2006 年



2007 年



第9図 葉数の推移

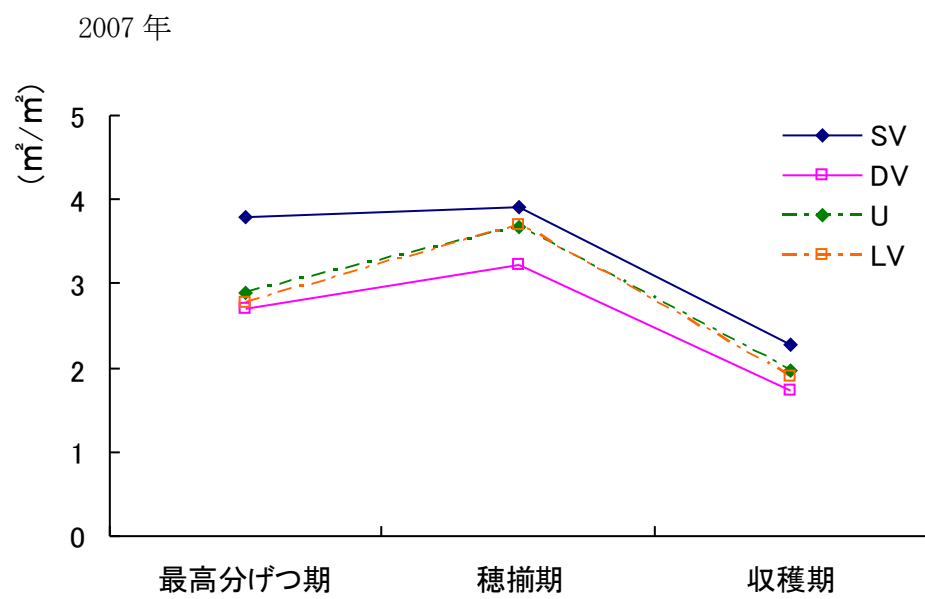
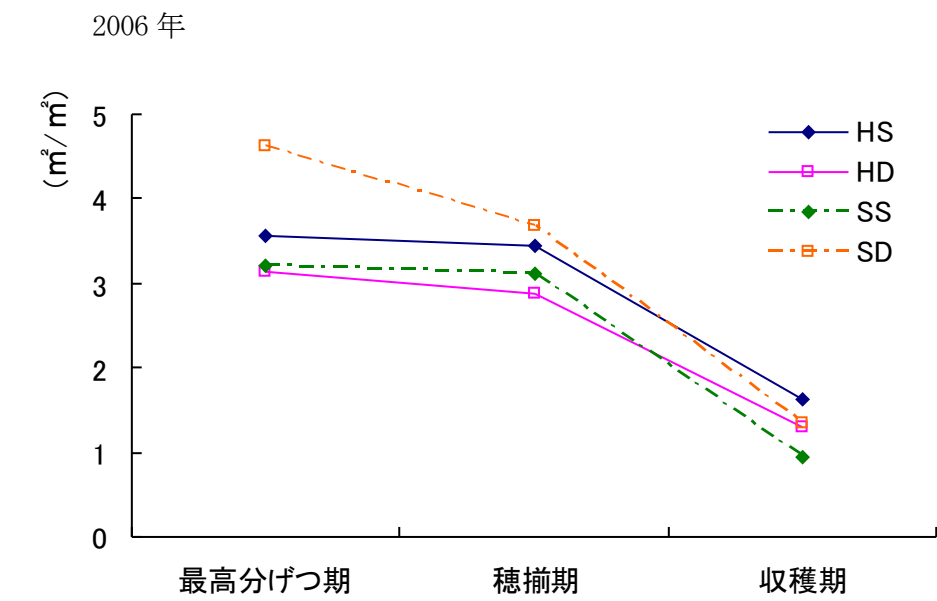


第 10 図 葉色値の推移

第 10 表 地上部全乾物重.

試験区	最高分げつ期 (g/m <sup>2</sup> )	穂揃期 (g/m <sup>2</sup> )	収穫期 (g/m <sup>2</sup> )
2006 年			
H S	271 a	783 a	1456 a
HD	232 a	693 a	1075 b
S S	231 a	672 a	894 b
S D	346 b	808 a	1060 b
2007 年			
S V	215 a	830 a	1333 a
D V	170 ab	808 a	1258 a
U	156 b	679 a	1076 a
L V	144 b	737 a	1289 a

異なるアルファベットはダンカンの多重検定において 5% レベルで有意差があることを示す.



第 11 図 葉面積指数の推移

第 11 表 播種深度と有効分げつの発生率，分げつ長． (2006 年)

試験区	播種深度 (cm)	1次	発生率 (%)	分げつ長 (cm)	2次 - 1	発生率 (%)	分げつ長 (cm)	2次 - 2	発生率 (%)	分げつ長 (cm)
H S	1.5	主茎	100	82						
		2	0		2-1					
		3	100	76	3-1	72	65	3-2	39	56
		4	100	76	4-1	72	58	4-2	17	
		5	100	75	5-1	28		5-2	11	
		6	100	70	6-1	6				
		7	89	68						
		8	33	28						
H D	1.7	主茎	100	78						
		2	6		2-1					
		3	94	73	3-1	56	61	3-2	56	50
		4	100	75	4-1	72	58	4-2	22	
		5	100	70	5-1	17		5-2	6	
		6	100	69	6-1					
		7	78	53						
		8	11							
S S	1.4	主茎	100	82						
		2	11		2-1					
		3	78	78	3-1	50	64	3-2	28	
		4	100	77	4-1	61	50	4-2	17	
		5	100	76	5-1					
		6	100	72	6-1					
		7	78	48						
		8	6							
S D	1.9	主茎	100	85						
		2	22		2-1	6				
		3	100	79	3-1	67	71	3-2	39	62
		4	100	81	4-1	89	66	4-2	39	46
		5	100	77	5-1	17				
		6	100	76	6-1					
		7	94	63						
		8	17							

各分げつ長については発生率が 30%以上の分げつについてのみ記載．

7 月 25 日に調査．

第 12 表 播種深度と有効分げつの発生率，分げつ長． (2007 年)

試験区	播種深度 (cm)	1次	発生率 (%)	分げつ長 (cm)	2次 - 1	発生率 (%)	分げつ長 (cm)	2次 - 2	発生率 (%)	分げつ長 (cm)
S V	0.5	主茎		66						
		2	10							
		3	100	58	3-1	70	43	3-2	60	38
		4	100	62	4-1	60	33	4-2	10	
		5	100	57						
		6	100	52						
		7	30	30						
		8	0							
D V	1.7	主茎		68						
		2	0							
		3	100	57	3-1	70	41	3-2	50	41
		4	100	61	4-1	80	37	4-2	40	28
		5	100	59	5-1	10				
		6	100	55						
		7	50	38						
		8	0							
U	1.3	主茎		69						
		2	30	63						
		3	100	63	3-1	90	45	3-2	70	31
		4	90	58	4-1	60	35	4-2	20	
		5	100	57	5-1	10				
		6	90	51						
		7	50	36						
		8	0							
L V	1.9	主茎		68						
		2	0							
		3	100	62	3-1	100	47	3-2	60	33
		4	100	68	4-1	40	33	4-2	20	
		5	100	61	5-1	20				
		6	100	58	6-1	10				
		7	70	41						
		8	0							

各分げつ長については発生率が 30%以上の分げつについてのみ記載．

7 月 17 日に調査．

第 13 表 いもち病発生程度.

試験区	葉いもち病発生茎率 (%)	穂いもち病発生茎率 (%)
2006 年		
H S	0.1	1.3
H D	0.1	1.5
S S	0.3	0.4
S D	0.3	0.3
2007 年		
S V	1.4	3.0
D V	1.7	1.8
U	1.0	3.9
L V	1.3	3.5

2006 年, 2007 年とも 9 月 11 日に調査.



第 14 表 押し倒し抵抗値. (2006 年)

試験区	稈長 (cm)	穂数 (本)	抵抗値 P	抵抗値/穂 P/穂
H S	87 a	7.3 a	2.8 a	0.4 a
H D	87 a	6.0 b	3.6 a	0.6 a
S S	89 ab	6.2 b	2.1 a	0.3 a
S D	93 b	6.5 b	4.1 a	0.6 a

異なるアルファベットはダンカンの多重検定において 5%レベルで有意差があることを示す.

9 月 21 日に調査.

第 15 表 倒伏角度. (2007 年)

試験区	稈長 (cm)	穂数 (本)	倒伏角度 (° )
S V	86 a	5.3 a	41 a
D V	88 a	5.8 a	36 a
U	89 a	6.2 a	33 a
L V	89 a	6.1 a	31 a

異なるアルファベットはダンカンの多重検定において 5%レベルで有意差があることを示す.

9 月 20 日に調査.

第 16 表 玄米収量. (2006 年)

試験区	全風乾重 (g/m <sup>2</sup> )	精粳重 (g/m <sup>2</sup> )	藁重 (g/m <sup>2</sup> )	粳/藁	総玄米重 (g/m <sup>2</sup> )	屑米重 (g/m <sup>2</sup> )	精玄米重 (g/m <sup>2</sup> )
H S	1315 a	750 a	621 a	1.21 a	571 a	29 a	543 a
H D	1319 a	622 a	696 a	0.89 a	512 a	20 a	493 ab
S S	1107 a	517 a	591 a	0.87 a	427 a	19 a	408 b
S D	1445 a	639 a	806 a	0.79 a	529 a	25 a	503 a

異なるアルファベットはダンカンの多重検定において 5% レベルで有意差があることを示す.

第 17 表 収量構成要素 (2006 年)

試験区	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	1 穂粳数 (粒/本)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
H S	240 a	106 a	87.2 a	20.9 a
H D	199 ab	110 a	89.7 a	21.6 a
S S	188 b	104 a	89.9 a	21.2 a
S D	235 ab	97 a	89.7 a	21.4 a

異なるアルファベットはダンカンの多重検定において 5% レベルで有意差があることを示す.

第 18 表 玄米収量. (2007 年)

試験区	全風乾重 (g/m <sup>2</sup> )	精籾重 (g/m <sup>2</sup> )	藁重 (g/m <sup>2</sup> )	籾/藁	総玄米重 (g/m <sup>2</sup> )	屑米重 (g/m <sup>2</sup> )	精玄米重 (g/m <sup>2</sup> )
S V	1719 a	684 a	1035 a	0.66 a	559 a	50 a	509 a
D V	1504 b	558 b	946 a	0.59 a	451 b	51 a	400 b
U	1653 ab	626 ab	1027 a	0.61 a	515 ab	39 a	476 ab
L V	1544 ab	600 ab	943 a	0.64 a	488 ab	56 a	433 b

異なるアルファベットはダンカンの多重検定において 5% レベルで有意差があることを示す.

第 19 表 収量構成要素. (2007 年)

試験区	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	1 穂籾数 (粒/本)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
S V	354 a	90 a	81.4 a	21.9 a
D V	294 b	96 a	79.8 a	21.9 a
U	304 b	96 a	83.6 a	21.8 a
L V	297 b	95 a	81.5 a	21.6 a

異なるアルファベットはダンカンの多重検定において 5% レベルで有意差があることを示す.

第 20 表 穂長，稈長，節間長と倒伏程度.

試験区	穂長 (cm)	稈長 (cm)	I (cm)	II (cm)	III (cm)	IV (cm)	V + VI (cm)	倒伏 程度 (0~5)
2006 年								
H S	19±0.1	88±0.5	36±0.2	19.9±0.1	16.4±0.3	10.6±0.4	5.3±0.2	0.3
H D	20±0.1	84±0.8	37±0.3	19.7±0.2	15.7±0.6	8.7±0.5	3.0±0.3	0.3
S S	19±0.3	89±1.2	36±0.4	19.7±0.4	17.1±0.5	11.2±0.5	5.8±0.6	1.3
S D	19±0.1	91±0.3	36±0.4	20.0±0.1	17.5±0.1	11.5±0.4	5.8±1.1	2.0
2007 年								
S V	18±0.4	86±0.7	36±0.7	20.0±0.3	15.1±0.1	10.1±0.6	4.5±0.5	3.7
D V	18±0.4	89±0.8	36±0.4	20.3±0.2	15.9±0.1	11.1±0.3	5.3±0.2	3.7
U	18±0.4	88±1.1	36±0.9	20.1±0.3	15.5±0.4	11.3±0.6	4.8±0.5	3.3
L V	18±0.2	89±1.2	36±0.4	20.4±0.3	15.7±0.4	11.3±0.3	5.5±0.4	3.3

平均値±標準誤差.

第 21 表 食味値と蛋白質，アミロース，脂肪酸含量.

試験区	食味値	蛋白質 (%)	蛋白質CM (%)	アミロース (%)	脂肪酸 (%)
2006 年					
H S	84.3 a	4.2 a	4.9 a	19.5 a	19.4 a
H D	83.7 a	4.3 ab	5.0 ab	19.4 b	20.0 b
S S	83.3 a	4.3 ab	5.1 ab	19.4 b	19.7 ab
S D	82.7 a	4.4 b	5.2 b	19.3 c	19.6 a
2007 年					
S V	77.7 a	5.5 a	6.4 a	19.1 a	17.3 a
D V	80.3 a	5.2 a	6.1 a	19.2 a	17.4 a
U	80.0 a	5.1 a	6.0 a	19.2 a	17.5 a
L V	78.7 a	5.2 a	6.1 a	19.2 a	17.9 a

異なるアルファベットはダンカンの多重検定において 5%レベルで有意差があることを示す.

## 考察

土壌硬度と生育、収量については 2006 年に試験を行ったが、Hard 区で苗立ちが不良となり Soft 区と大きく差が生じた。その要因としては第 1 章で述べたが、苗立ち密度が異なると補償作用により個体間の茎数が変動する（三石 1990）ことが知られている。江原ら(1998)は収量の補償に向けた第 1 番目の変動として、個体間密度が低いと純同化率が生育後期まで高く、相対分げつ速度が高く維持され個体当たりの穂数が多くなるとしている。この個体当たりの穂数は、分げつ数の増加過程と最高分げつ期以降の分げつの有効化の過程を経て決まるため、最高分げつ期以降の生育も重要となる。本試験結果も同様に、低密度であった Hard 区で穂揃い期から収穫期にかけて地上部乾物重が大きく増加した。これは葉面積指数や葉色値の減少傾向が少なかったことから良好な乾物生産が生育後期まで持続したと考えられ、個体当たりの茎数が増加したことが要因で収量性における個体密度間差が埋められたと推察された。また、2006 年は溝深の異なる 2 種の播種溝を用いてあわせて試験したが、Hard 区では  $HS > HD$ 、Soft 区では  $SD > SS$  という生育を示した。収量は  $HS$  区で最大であり、次いで  $SD$  区となったが、この 2 区間で穂数に差はみられなかったが、中村ら（1994）は穂数が多くなると 1 穂粒数や登熟歩合などが低下するとしている。生育後期まで乾物生産が旺盛であったために穂数が多くとも 1 穂粒数に低下傾向がみられなかったことが  $HS$  区で収量が最大となった要因であった。また、 $SD$  区と同程度の苗立ち数であったにもかかわらず  $SS$  区が低収量となったのは、2 次分げつの発生が少なかったことによる穂数の低下が要因となった。調査区が圃場中央寄りであったため深水となってしまった、追肥が撒きむらとなったなどが考えられるが、その原因が明確に見当たらず不明である。

播種溝の形状別に着目すると、播種深度に若干の傾向はみられたものの生育過程に顕著な差はなかった。しかし、佐藤(1974)は種子の埋没によって稲体稈基部の露出が少ないと倒伏抵抗が強まるとされたとしており、本圃場試験での押し倒し抵抗値でも同様な結果を示した。播種溝の深い Deep 区において、有意差はないものの押し倒し抵抗値が高い傾向がみられ、1 穂当たりの抵抗値ではよりその差が顕著であった。倒伏が生じると、受光態勢の悪化や稈の挫折により籾への同化産物の移行が妨げられるため登熟が減退することや、収穫作業の能率低下などの要因から収量に及ぼす影響は大きい。湛水直播栽培においては倒伏程度と稲体の支持力を表す押し倒し抵抗値とは相関が高く(尾形・松江 1996)、抵抗値の高かった Deep 区においては倒伏の軽減が期待できると考え

られる。収量性については、土壌硬度差による影響が大きく考察が困難となったため、2007 年は Soft 区に近い土壌硬度で新たに 4 種の処理区を設け、溝形状についてのみの圃場試験を行った。最高分げつ期の播種深度は S V 区 < U 区 < D V 区 < L V 区であったが、最高茎数、葉面積指数、葉色値の推移等から苗立ち期から最高分げつ期にかけての初期生育は播種深度に比例傾向がみられた。直播栽培は一般に移植栽培と比較し低位節からの分げつが発生することが知られ、浅播きであるほど過剰分げつとなりやすい。本試験でも播種深度の浅い試験区ほど旺盛な初期生育であった。苗立ち密度が低いほど上位節で分げつの発生がみられる（佐々木 1999）が、他区より顕著に個体密度の高かった S V 区は、分げつ発生が低位節にとどまり 2 次分げつの発生が減少した傾向がみられた。他の 3 区では播種深度に応じた生育の傾向があるようにも見受けられるがいずれも有意差はなく、その後有効茎歩合は高められ稈が太くなった（岡部ら 2003）と考えられ、倒伏程度が軽微となり播種深度とあわせて倒伏に関する抵抗性が強まる傾向がみられた。この点から L V 区が有望と思われたが、台風の襲来のためその成果は十分に得られていないため、再度検討が必要である。しかし、S V 区で無効分げつが多く最終茎数は最高分げつ期に比べ近似はしたものの初期の個体密度差を埋めるほどの補償作用は得られず、単位面積当たりの茎数、乾物重、葉面積指数から S V 区の生育が最も旺盛であった。これらにより収量は S V 区で最も高くなった。1 穂粒数が少ない傾向がみられたものの有意に穂数が多かったことが決定要因であった。

以上から、本試験ではゴルフボール測定法で露出高が 3 cm 程度と土壌が硬い場合は播種溝は浅く、1.5 cm 程度と軟らかい場合は播種溝は深いと生育が優れるという結果が得られたが、その相互関係については未だ説明できておらず不明である。そして、播種溝形状別の生育からは、浅い V 字型が最も苗立ちがよく収量性に優れることが示唆された。

### 第3章 有機栽培管理における再生紙マルチ直播栽培の検討

#### 目的

近年は食の安全性の観点から水稲でも有機栽培が注目され、その需要が高まってきている。しかし直播栽培においては有機栽培が困難とされており、未だ試験例も少ない。有機栽培および直播栽培の双方で問題となる雑草発生について山内（2001）は再生紙マルチシートを水田に敷設する直播法で抑制できるとしている。有機直播栽培を検討するにあたって、本直播法は有効であると考えられ、水稲直播の有機栽培が実現可能であるかを、圃場試験にてその生育、収量性について検討した。また、その場合は有機質肥料を使用するため土壌条件が異なることや点播や表面播きとなることが生育に影響を及ぼすと考えられる。第2章で用いた作溝直播栽培の中から生育、収量性の良かったSV区、およびこの手法の有機栽培で先例のある再生紙マルチ移植栽培と比較することで、再生紙マルチ直播栽培の生育特性を検証した。

#### 材料と方法

##### 試験区の構成

2007年に供試品種コシヒカリを用いて試験を行った。試験圃場は、宇都宮大学附属農場内の厚層多腐植質アロフェン黒ボク土壌で、連年有機栽培している圃場である。堆肥を2t/10a連年施用している圃場で、2007年は3月上旬に第1章にて使用した堆肥をマニユアスプレッターにて施用した。加えて発酵鶏糞（N2%）を100kg/10a、有機質肥料（天然素材：中部飼料 N4%）を全量基肥で80kg/10aを4月26日に施肥した。またいずれの試験区においても前年度の稲藁は土壌に還元した。

試験区の構成を第22表に示した。再生紙マルチシートを利用した有機直播栽培の検討として、再生紙マルチ直播区、その生育比較としてマルチなどを被覆せず再生紙マルチ直播区と同様に播種した対照直播区、移植栽培にて再生紙マルチシートを利用し有機栽培を行った再生紙マルチ移植区の計3区を設けた。直播区と移植区の境は波板で仕切った。本田への播種、移植後も除草剤、殺虫剤のような農薬の類は一切使用せず、いずれの試験区も有機栽培管理とした。



## 播種

第1章と同様に種子消毒をしたコシヒカリの種籾を中国農試に送付し再生紙マルチ直播シートとして加工して、再生紙マルチ直播区とした。再生紙マルチ直播シートの概要を第12図に示したが、本試験に使用する再生紙マルチシートは長さ50m、幅が1.6mであり30×20cmの播種密度で1シート5条播きである。また、1穴に4粒ずつ乾籾が設置してある。2007年の5月9日に代かきを行い落水し、翌日5月10日に再生紙マルチ直播シートを本田に敷設することで播種を行った。シートを敷設した試験区は5aである。対照直播区は5月9日に代かきを行った圃場に5月12日に30×20cmの再生紙マルチ直播区と等間隔に1箇所4粒ずつ土壌表面に点播した。対照直播区の試験区面積は0.2aである。播種後は一時湛水とし、その後苗立ちが確認されるまで落水と潤土管理を繰り返した。また、鳥害対策として苗立ちが確保されるまで試験区の周囲をマイカ線を取り囲んだ。

## 育苗、移植

品種はコシヒカリを供試し、第1章と同様に催芽処理を施した。床土として農場内黒ボク土の山土3Lに魚かすN2.5%を35g混合した。催芽籾を乾籾で80g/箱を4月19日に播種し、覆土として山土を用いた。育苗は播種後ハウス内に置床し、保温、保湿のため保温シートで4日間覆い、その後1日1回十分に灌水した。また5月上旬以降はプール育苗とした。移植日前日に代かきを行い落水した圃場に、30×17cmの1株あたり約4本植えて6条乗用の紙マルチ敷設同時移植機（ミツビシ農機）で移植した。移植と同時に再生紙マルチを敷設し、移植したものを再生紙マルチ移植区として15aを設けた。

## 調査項目

### 苗立ち調査

苗立ち調査は再生紙マルチ直播区と対照直播区において実施した。再生紙マルチ直播区は1試験区につき30株を3地点で調査した。対照直播区では、1試験区あたり10株を3地点を調査した。苗立ちした個体数を調査区内への播種量で割ることで苗立ち率と株当たりの苗立ち数を算出し、同時に欠株率についても調査した。

## **生育調査**

生育調査は、試験区ごとに周囲を含めた欠株のない10株（5株×2条）を1調査地点として各反復に1箇所設けた。1試験区あたり3反復行い、草丈、茎数、葉数、葉色値を調査した。草丈、葉数は2週間ごとに測定した。茎数、葉色素値は1～2週間ごとに測定した。葉色値の測定については試験1と同様である。

## **乾物重、葉面積**

調査時期、調査方法においては試験1と同様である。調査は各時期、生育調査地点の平均茎数を調べ、平均茎数を持つ株を各調査地点の周辺から2株抜き取って行った。各試験区3反復で調査を行った。

## **雑草調査**

雑草調査は2007年7月26日に行った。1反復の調査面積を60×60cmとして、その中の雑草を全て抜き取り草種ごとに分けて個体数を数えた。その後根や地上部に付着した泥を洗い落とし、80℃で2日間通風乾燥後、乾物重を測定した。各試験区3反復で調査を行った。

## **病害調査**

1試験区につき40株を3地点、2007年9月11日に調査した。調査方法は試験1と同様である。

## **倒伏抵抗**

倒伏程度および押し倒し抵抗値は、収穫期から20日程度前に掘り取り調査同様に平均的な株を選出し、各処理区6株において倒伏角度、押し倒し抵抗値を測定した。倒伏角度、押し倒し抵抗値の調査方法は試験1と同様である。

## **収量調査**

再生紙マルチ直播区で5株×3条の計15株、再生紙マルチ移植区で10株×2条の計20株について各試験区3反復で調査を行った。調査方法は第2章と同様である。

### **収量構成要素，各節間長**

収量構成要素，各節間長ともに調査方法は第 2 章と同様である．収量構成要素用は調査区から 5 株を掘り取って測定した．節間長用は調査区から 3 本ずつ取り出し計 15 本を測定した．各試験区 3 反復で調査を行った．

## 結果

### 苗立ち

2007 年の有機栽培直播区の苗立ちを第 23 表に示した。マルチ再生紙マルチ直播シートの敷設による苗成率は 49% であった。これに対し再生紙マルチシートを使用せずに播種を行った対照区では非常にバラつきが大きかったが、35% と苗成率が劣った。また欠株率は再生紙マルチ区で 12%、対照区で 62% であり、株あたりの苗成株数は再生紙マルチ区で 2.0 本、対照区で 0.5 本であった。対照区での欠株率が再生紙マルチ区に比べ顕著に大きく、これにより対照区は今後の調査が不可能となったため、今後の有機直播区では雑草調査以外は再生紙マルチ直播区のみを調査することとした。

### 水稻生育

生育概要を第 24 表に示した。最大草丈はマルチ直播区でやや高くなった。最高茎数はマルチ 2 区で顕著に低かったが、有効茎歩合は高くなった。最高茎数はマルチ直播区の方が移植区よりも多かった。出穂日は慣行の直播区と比べマルチ直播区でやや遅れ、マルチ移植区では早かった。

草丈の推移を第 13 図に示した。調査開始日の 6 月 14 日からマルチ移植区 > S V 区 > マルチ直播区の順でほぼ推移し、最終的にはほぼ同じ草丈となった。

茎数の推移を第 14 図に示した。調査開始日の 6 月 14 日から終始 S V 区で高く推移し、最高分げつ期に特に顕著であった。マルチ 2 区は 6 月下旬に最高分げつ期を迎えてからは無効茎の発生がみられずにほぼ横ばいに推移した。最終茎数は S V 区 > マルチ直播区 > マルチ移植区となり、S V 区は顕著に高かった。

葉数の推移を第 15 図に示した。調査開始日の 6 月 14 日から終始マルチ移植区で高く推移した。直播区では初期は S V 区で高かったものの 7 月にはマルチ直播区が追いつき、最終葉数はほぼ同じ値となった。

葉色値の推移を第 16 図に示した。調査開始日の 6 月 21 日はマルチ直播区で低かったが、7 月上旬から出穂期にかけては S V 区で顕著に低く推移した。その後は 3 区でほぼ同じであったが 9 月に入ってマルチ移植区で急激な低下がみられた。

### 乾物生産と葉面積指数

生育期間内の地上部全乾物重を第 25 表に示した。生育期間を通じて S V 区で乾物重

が高かった。マルチ 2 区では最高分けつ期でマルチ直播区が S V 区に対して有意に低かったが、穂揃い期以降はマルチ移植区を上回った。

葉面積指数の推移を第 17 図に示した。生育期間を通じて S V 区が高く推移した。マルチ直播区は S V 区より低い値で同様な変動をしたが、マルチ移植区は最高分けつ期以降減少傾向であり、特に穂揃期の減少程度は大きかった。

## 雑草発生

有機栽培区での雑草発生本数を第 26 表に、雑草乾物重を第 27 表に示した。再生紙マルチ 2 区と対照区の間でコナギ、ホタルイ、アゼナの各個体数はマルチ 2 区で有意に減少した。その他の雑草種においてもそれぞれ対照直播区で増加傾向がみられた。マルチ両区間ではマルチ移植区でコナギの個体数が多くなっているが、その他の雑草種ではあまり差はみられなかった。全個体数においても対照区で有意に増加し、マルチ区においても移植区で若干個体数が多い傾向を示した。雑草乾物重も個体数と同様にコナギ、ホタルイ、その他雑草と全雑草種で対照区で有意な増加がみられ、特にコナギではその差が顕著であった。マルチ両区間でもコナギでは直播区がより抑制傾向がみられた。

## 病害程度

葉いもちおよび穂いもちの発生率を第 28 表に示した。葉いもち、穂いもちの両方で S V 区に比べマルチ 2 区は発生が少なかった。葉いもちはマルチ移植区、穂いもちはマルチ直播区でそれぞれ発生が極少であった。

## 倒伏耐性

押し倒し抵抗値を第 29 表、倒伏角度を第 30 表にそれぞれ示した。押し倒し抵抗値はマルチ区のための調査であるが、マルチ移植区のほうがやや高い値となり、1 穂当たりの抵抗値ではより高くなる傾向を示した。倒伏については、穂数が各区で有意に異なったが倒伏角度はマルチ移植区で顕著に小さく、S V 区とマルチ直播区は同程度であった。

## 収量および収量構成要素

収量および収量構成要素を第 31 表、第 32 表にそれぞれ示した。全風乾重で各試験区に有意差があり、全風乾重、精籾重、藁重、総玄米重、精玄米重において S V 区 > マル

チ直播区>マルチ移植区の順であった。また、それら全てでマルチ移植区はSV区に対して有意に低かった。穂数はSV区で有意に高く、千粒重はマルチ移植区で有意に低かった。また、有意差はないものの1穂粒数、登熟歩合はSV区で低い傾向がみられた。

### **穂長，稈長，節間長と倒伏程度**

穂長，稈長，節間長と倒伏程度を第33表に示した。SV区で稈長がやや高い傾向がみられたが，各試験区でⅠ～Ⅲ節までは差はなかった。しかし，低位節のⅣ～Ⅴ+Ⅵ節ではマルチ直播区で若干低かった。倒伏程度はマルチ移植区で少なく，SV区とマルチ直播区は同程度であった。

### **食味値，蛋白含量**

食味値と蛋白質，アミロース，脂肪酸含量を第34表に示した。食味値はマルチ移植区で高く，SV区で低い値となった。蛋白質，アミロース，脂肪酸含量でいずれもマルチ移植区で低く，そのうちアミロース，脂肪酸含量については有意差があった。SV区とマルチ直播区とでは顕著な差はみられなかった。

第 22 表 2007 年の再生紙マルチ試験区の概要.

試験区	播種および 移植様式	播種量および 移植本数	播種および 移植日	試験区面積 (a)
再生紙マルチ直播	30×20 cm	4 粒/株	5.10	5.0
対照直播	30×20 cm	4 粒/株	5.12	0.2
再生紙マルチ移植	30×17 cm	4 本/株	5.17	15.0

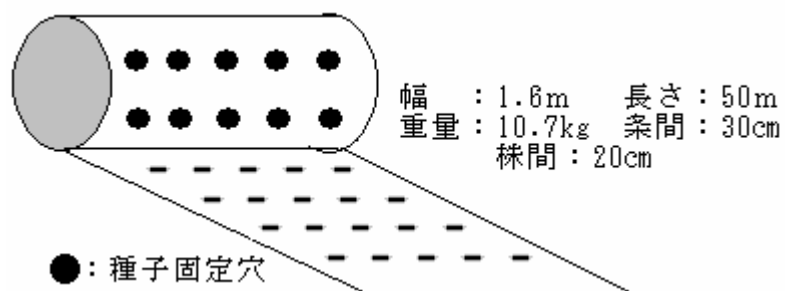
供試品種 : コシヒカリ

基肥 : 牛ふん堆肥 2t/10a

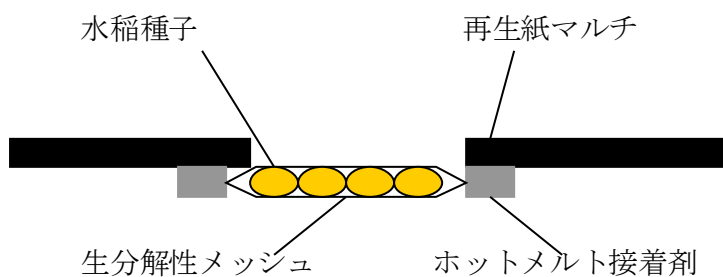
: 発酵鶏ふん 100kg/10a

: 天然素材 40kg/10a

全体図



断面模式図



第 12 図 再生紙マルチ直播シートの概要図

第 23 表 有機直播栽培区の苗立ち. (2007 年)

試験区	苗立ち率 (%)	欠株率 (%)	苗立ち数 本/m <sup>2</sup>	苗立ち数 本/株
再生紙マルチ直播区	49±7	12±3	39±6	2.0±0.5
対照直播区	35±18	62±15	28±15	0.5±0.2

平均値±標準誤差.

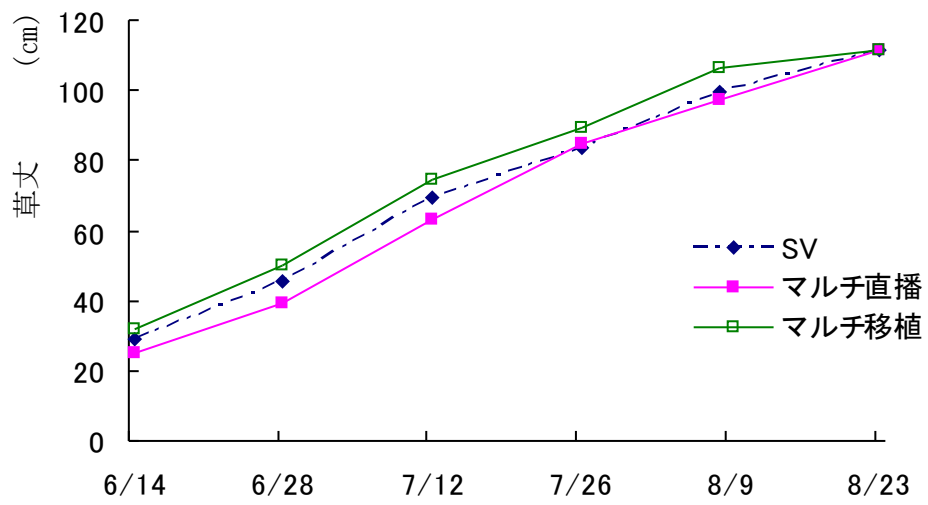
6 月 7 日に調査.

第 24 表 生育の概要. (2007 年)

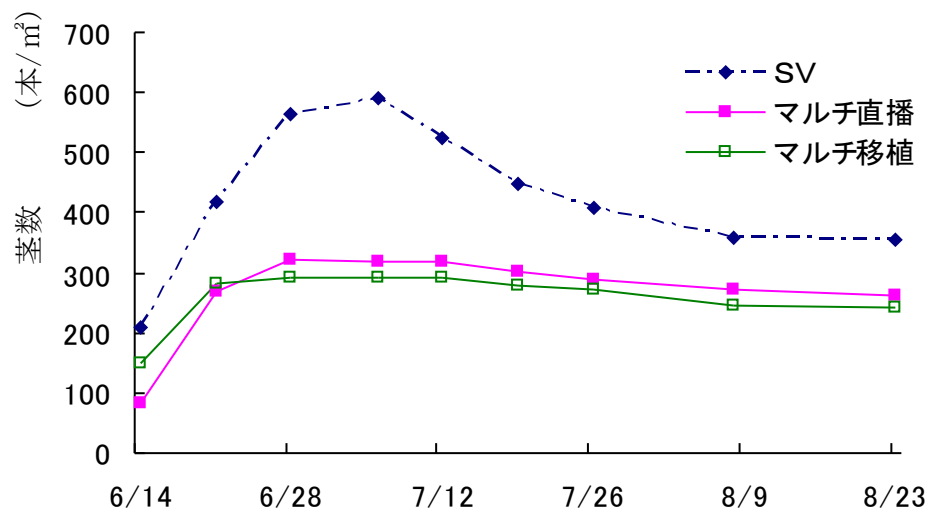
試験区	最大草丈 (cm)	苗立ち数 (本/m <sup>2</sup> )	主稈葉数	最高茎数 (本/m <sup>2</sup> )	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	有効茎 歩合 (%)	出穂日 (月. 日)
S V	112	67	14.8	591	354	60	8.17
マルチ直播	115	39	15.0	320	240	82	8.19
マルチ移植	112	—	15.0	292	199	83	8.10

生育調査区 3 地点の平均値.

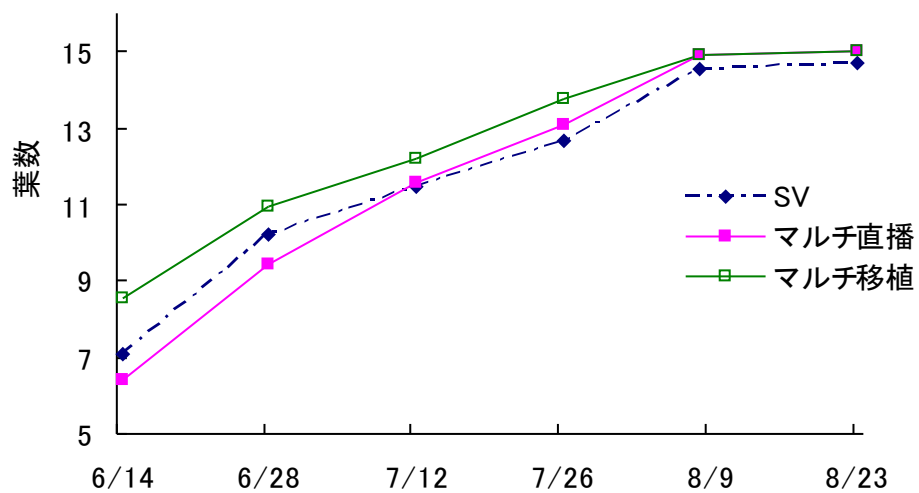




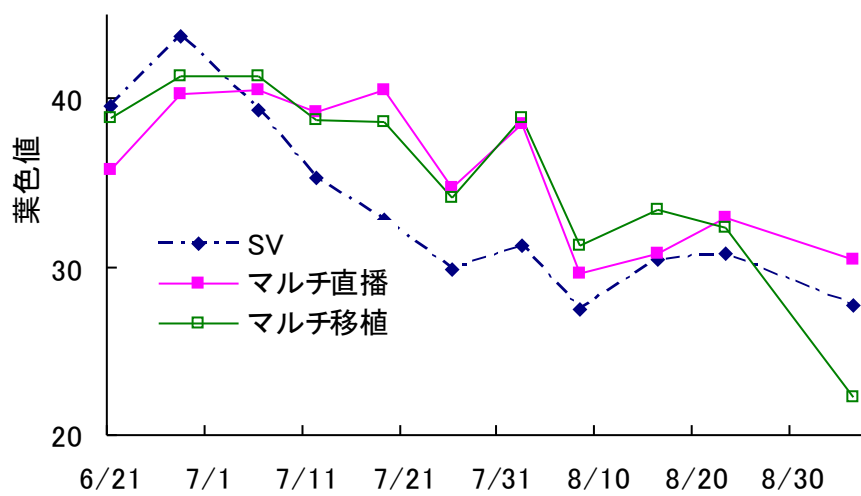
第 13 図 草丈の推移



第 14 図 茎数の推移



第 15 図 葉数の推移

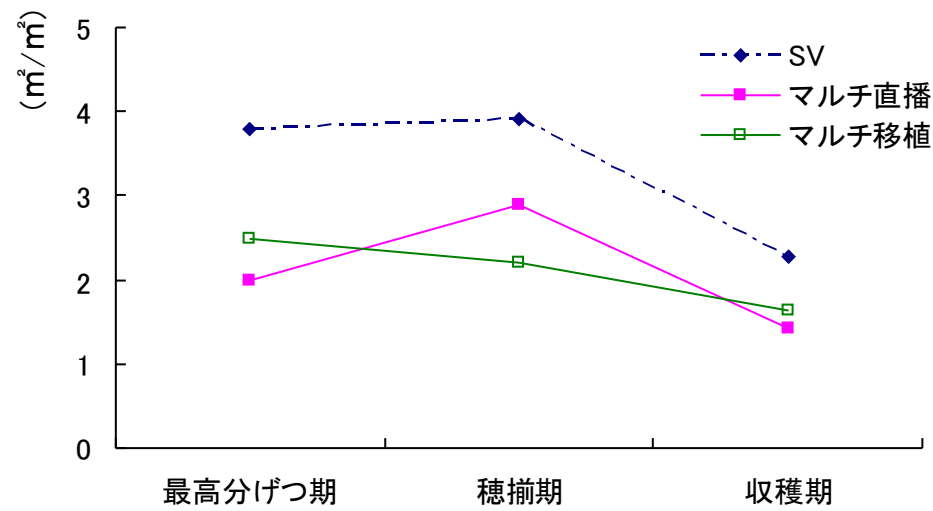


第 16 図 葉色値の推移

第 25 表 地上部全乾物重.

試験区	最高分げつ期 (g/m <sup>2</sup> )	穂揃期 (g/m <sup>2</sup> )	収穫期 (g/m <sup>2</sup> )
S V	215 a	830 a	1333 a
マルチ直播	108 b	769 a	1179 a
マルチ移植	197 ab	662 a	1102 a

異なるアルファベットはダンカンの多重検定において 5% レベルで  
有意差があることを示す.



第 17 図 葉面積指数の推移

第 26 表 雑草発生個体数. (2007 年)

試験区	コナギ (本/m <sup>2</sup> )	ホタルイ (本/m <sup>2</sup> )	アゼナ (本/m <sup>2</sup> )	チョウジ タデ (本/m <sup>2</sup> )	キカシ グサ (本/m <sup>2</sup> )	その他 (本/m <sup>2</sup> )	合計 (本/m <sup>2</sup> )
マルチ直播	14 a	0 a	11 a	3 a	3 a	0 a	31 a
マルチ移植	58 a	3 a	6 a	3 a	0 a	0 a	70 a
対照直播	1031 b	86 b	169 b	17 a	17 a	20 a	1340 b

異なるアルファベットはダンカンの多重検定において 5% レベルで有意差があることを示す.

7 月 26 日に調査.

第 27 表 雑草乾物重. (2007 年)

試験区	コナギ (g/m <sup>2</sup> )	ホタルイ (g/m <sup>2</sup> )	その他 (g/m <sup>2</sup> )	合計 (g/m <sup>2</sup> )
マルチ直播	7.4 a	0 a	4.1 a	11.5 a
マルチ移植	19.9 a	0.2 a	0.6 a	20.7 a
対照直播	169.8 b	3.6 a	22.3 b	195.8 b

異なるアルファベットはダンカンの多重検定において 5% レベルで有意差があることを示す.

7 月 26 日に調査.

第 28 表 いもち病発生程度.

試験区	葉いもち病発生茎率 (%)	穂いもち病発生穂率 (%)
S V	1.4	3.0
マルチ直播	0.5	0.3
マルチ移植	0.1	1.0

7 月 26 日に調査.

第 29 表 押し倒し抵抗値.

試験区	稈長 (cm)	穂数 (本)	抵抗値 P	抵抗値/穂 P/穂
マルチ直播	86±1	16.2±0.1	7.1±1.6	0.4±0.1
マルチ移植	83±2	12.3±1.2	8.5±2.3	0.7±0.2

平均値±標準誤差

9 月 20 日に調査.

第 30 表 倒伏角度.

試験区	稈長 (cm)	穂数 (本)	倒伏角度 (°)
S V	86 a	5.3 a	41 a
マルチ直播	86 a	16.2 c	42 a
マルチ移植	83 a	12.3 b	10 b

異なるアルファベットはダンカンの多重検定において  
5%レベルで有意差があることを示す.

9 月 20 日に調査.

第 31 表 玄米収量.

試験区	全風乾重 (g/m <sup>2</sup> )	精籾重 (g/m <sup>2</sup> )	藁重 (g/m <sup>2</sup> )	籾/藁	総玄米重 (g/m <sup>2</sup> )	屑米重 (g/m <sup>2</sup> )	精玄米重 (g/m <sup>2</sup> )
S V	1719 a	684 a	1035 a	0.66 a	559 a	50 a	509 a
マルチ直播	1490 b	608 ab	882 a	0.69 a	499 ab	53 a	446 ab
マルチ移植	1224 c	548 b	677 b	0.81 a	455 b	33 a	412 b

異なるアルファベットはダンカンの多重検定において 5% レベルで有意差があることを示す.

第 32 表 収量構成要素.

試験区	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	1 穂籾数 (粒/本)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
S V	354 a	90 a	81.4 a	21.9 a
マルチ直播	240 a	108 a	84.0 a	21.7 a
マルチ移植	199 ab	97 a	85.2 a	20.5 b

異なるアルファベットはダンカンの多重検定において 5% レベルで有意差があることを示す.

第 33 表 穂長，稈長，節間長と倒伏程度.

試験区	穂長 (cm)	稈長 (cm)	I (cm)	II (cm)	III (cm)	IV (cm)	V + VI (cm)	倒伏 程度 (0～5)
S V	18±0.4	86±0.7	36±0.7	20.0±0.3	15.1±0.1	10.1±0.6	4.5±0.5	3.7
マルチ直播	19±0.2	83±0.7	36±0.2	19.2±0	15.0±0.3	9.8±0.2	3.9±0.2	3.7
マルチ移植	19±0.3	83±1.0	35±0.5	19.9±0.2	14.6±0.2	10.9±0.2	4.8±0.3	1.3

平均値±標準誤差

第 34 表 食味値と蛋白質，アミロース，脂肪酸含量.

試験区	食味値	蛋白質 (%)	蛋白質CM (%)	アミロース (%)	脂肪酸 (%)
S V	77.7 a	5.5 a	6.4 a	19.1 ab	17.3 a
マルチ直播	80.3 a	5.2 a	6.1 a	19.2 a	17.5 a
マルチ移植	80.7 a	5.0 a	5.9 a	18.9 b	15.9 b

異なるアルファベットはダンカンの多重検定において 5%レベルで有意差があることを示す.



## 考察

再生紙マルチを敷設し、有機栽培管理とした再生紙マルチ直播区では、湛水作溝直播栽培と比較して苗立ち数が少なかった。これは播種量の差によるものと考えられ、苗立ち率は最も苗立ちの優れたSV区と同程度であったが、欠株率が高かった。播種直後に一時湛水したことがシートの浮遊の要因と考えられた。再生紙マルチを被覆せずに有機栽培管理とした対照区では、種子の浮遊および雑草の発生が著しく欠株が激しかったため、この時点で実用には耐えられないと思われた。再生紙マルチの抑草効果は本田へ敷設後2ヶ月程度持続したが、その間の雑草発生の抑制は移植と直播の両栽培ともに顕著にみられ、再生紙マルチ直播栽培においても移植栽培に劣らずその効果がみられた。有機栽培では、初期の生育が悪く茎数の確保が難しいため（前田 2001）、再生紙マルチ2区ではいずれも最高分げつ数は少なかったが、有効茎歩合は作溝直播栽培のSV区に比べ顕著に高まった。草丈、葉数の推移から再生紙マルチ区でも移植栽培の方が生育が進んでいたため、生育初期は移植区で茎数、乾物重が高くなったが、最高分げつ期以降はマルチ移植区で生育量が停滞し、直播区よりも小さくなった。倒伏耐性に関しては、移植栽培では栽植様式から直播栽培よりも倒伏抵抗性に優れることが知られており、本試験でもマルチ直播区より倒伏は軽微で押し倒し抵抗値も大きくなった。直播区間ではマルチ直播は表面播きであったため倒伏耐性が危惧されたが、倒伏角度から倒伏耐性は同程度であったと思われた。これは有効茎が高いため稈が強まったこと、点播という播種様式が株を大きくする（吉永ら 2001）ことなどから倒伏耐性が高まったと考えられる。収量に関しては、SV区では穂数の有意な増加が要因となりマルチ2区より多収となった。マルチ2区では穂数が低かったもののマルチ直播区はマルチ移植区に比べ、1穂粒数や千粒重が大きかったため収量が大きい傾向がみられた。マルチ移植での生育凋落による収量低下の要因は未だ不明であるが、マルチ直播は収量性では実用的な栽培法と考えられる。しかし、本栽培法では生産コストが増加するなど普及に向けた課題が残されており、今後はより多収で低コストな栽培法を検討してゆく必要がある。

## 総合考察

水稻の作溝直播栽培において、播種時の土壌硬度に関しては、鳥害や種子の流亡の著しかった Hard 区に比べ Soft 区で苗立ちが良好であった。露出高が 1 cm を下回ると土壌が軟らかすぎるために播種溝の維持されずに土中に埋もれてしまう危険性があり、ゴルフボール測定法で田面からの露出高が 1~2cm 程度の土壌硬度にして播種することが、出芽、苗立ち性、作業性の点で望ましいと推察された。異なる播種溝形状でのポット出芽試験からは、播種溝の溝深に関わらず苗立ちは変わらなかったが出芽速度は溝深の浅い V 字形状で早まり、実際の圃場での苗立ち数の確保の他、鳥害や雑草競合が回避でき有利であると考えられた。2006 年の圃場試験では、土壌硬度差により苗立ちがばらついた影響が大きく、この個体密度差が収量性に至るまでの生育全般に影響を及ぼしたため播種溝形状による生育の考察は困難であった。2007 年の圃場試験ではポット試験同様に溝深の浅い V 字溝区において苗立ちが優れたため、高い個体密度によって最大分げつ数が確保され、穂数の増加に結びついた。そのため、玄米収量が最大となり、食味に処理間差がみられなかったことを含め収量性に優れたが、この形状では溝深が浅いため倒伏耐性の低下が危惧された。同じ V 字溝であっても溝深の深い区と比べると倒伏耐性形質に若干劣る傾向はみられたが、波風による土壌の崩れからなる種子の埋没には限界があり播種深度は播種溝ほどの差が付かないことや、台風などの悪条件下で倒伏程度に影響が出るほどの処理区間差が得られなかったことを考慮すると、播種溝をそれほど深くする必要はないと思われ、本試験で供試した形状では S V 形状が最も有望であることが示唆された。また、本試験で扱ったのは一部であるが、溝深の浅い V 字形状が作業効率も含めた上での最上に近い形質であるとも思われた。しかし、圃場試験では黒ボク土においてのみの試験であったため、今後沖積土や他の土壌条件についても播種溝の形状とあわせて検討する必要がある。

再生紙マルチ直播栽培に関しては、点播栽培という播種様式をとったため苗立ち数が低下したが、苗立ち率は S V 区と同程度であったため出芽、苗立ち性はまずまずであったと思われる。有機栽培で特に問題視される雑草害はマルチ移植区と共にマルチ敷設中は優れた抑草効果を示し、雑草との栄養分の競合は軽微であったと考えられたが初期生育は慣行の直播栽培に劣った。有機質肥料の肥効の緩慢による影響も大きいと思われたが、マルチ移植区と並んで生育量は劣る結果となった。しかし、生育後期の高い有効茎歩合や乾物生産から収量は慣行の直播栽培と同程度の値となり、この栽培法が実現可能

である可能性が示唆された。本試験では単年のみでの試験となったため、連年で試験を進めていくことでさらなる技術確立を目指すとともに、環境負荷の低く、省力性に優れる栽培法である再生紙マルチ直播栽培を普及に向けた活動を今後広げていく必要があると思われる。

## 要旨

直播栽培への取り組みは、近年拡大しつつあるが栽培面積は未だ 1%程度に過ぎず、普及に向けた技術の確立が必要とされている。作溝直播栽培は省力性に優れ、生産コストの低減が可能な栽培法である。落水出芽法を組み合わせることで出芽、苗立ちの安定化が図られるため酸素供給剤を使用せずに済み、さらに低投入となる。この直播法を普及させるにはその収量性が高いことを実証することが不可欠であると考え、出芽、苗立ちを安定させ収量の増加を目指す目的で、水稻品種コシヒカリを供試して異なる播種時の播種溝形状、土壌硬度についての検討を行った。まず、代かき後の落水程度を変えることで播種時の異なる土壌硬度が及ぼす影響をみたが、鳥害や種子の流亡などの要因を踏まえ、苗立ち数や作業性を考慮するとゴルフボール測定法で 1~2 cm 程度の露出高となる土壌硬度での播種が適当であると推察された。また、異なる播種溝形状についての生育は供試した中で浅い V 字型が最も良好な苗立ちを示し、穂数が他の形状を有意に多く収量は最大となり、500kg/10a を越える精玄米重が得られた。これは播種深度が浅かったことで出芽が優れたことが要因であり、このために耐倒伏性が劣ることが危惧されたが、深い V 字型と比べても倒伏性に顕著な差はみられなかったため浅い V 字型形状が湛水作溝直播栽培において優れた播種溝形状であると思われた。以上の結果から、省力、低コスト性を考慮し、慣行の移植栽培から直播栽培に置換しうる収量性が得られると結論づけた。また、この直播法と比較して再生紙マルチ直播栽培についての検討も加えた。近年、環境負荷の低減や食の安全から有機栽培が注目されており、再生紙マルチを本田に敷設する方法で水稻有機直播栽培を試みたが、雑草の抑制効果が高く良好な生育を示した。収量性からも実用的栽培法として普及の可能性が期待できることが示唆された。

## **Effects of the Form Seedling Furrow and the Soil Condition on the Growth and Yield of Direct Sowing Culture of Rice : Haruki Kimijima**

**Abstract:** The direct seedling covers only 1% of the total rice fields, and needs to establish technology for extension, although submerged broadcasting direct sowing has the potential to substantially reduce production cost and labor requirement. Combining the drainage and seeds without coating of oxygen-generator, it could fundamentally improve seedling emergence and establishment, and it becomes low input sustainable method. To prove the yield potencial of this culture method, the author discussed the effects by different seedling furrow forms and soil hardness on growth and yield of Koshihikari to stabilize the seedling establishment and high yield. First, effects of different soil hardness by changing drainage after puddling were studied. It was shown that seeding at the soil, of which hardness was a centimeter or two by golfball dropping method, was appropriate in consideration for establishment, workability, bird injury and seeding washing away. Also, among different forms of seedling furrow, shallow V-furrow had the best establishment. It gave good yield of over 500kg/10a, and significantly higher panicle numbers than others. It was because of the superior emergence by shallow seeding depth. Shallow depth was concerned for the possibility of low lodging resistance, however, it was similar to the deep V-furrow. Consequently, it appears that shallow V-furrow is good form for direct seedling rice in a flooded paddy field. These results show that the same yield level as conventionally transplanted plants can be achieved, in reducing production cost and labor requirement. In addition, direct sowing culture of rice with recycled-paper mulch was discussed comparing with other methods. In recent years, organic cultivation attracts interest about the decrease of burdens on the environment and safety of foods. The author tried to cultivate organic direct seedling rice in such a way of laying recycled-paper mulch on field. It indicated good growth and control of weeds. It suggested the possibility that could become widely used as a practical cultivation method judging from yields.

## 謝辞

本研究の遂行および本論文の作成にあたり、ご指導、ご助言を頂いた作物生産技術学研究室の前田忠信教授、作物栽培学研究室の吉田智彦教授、和田義春准教授、土壌学研究室の平井英明准教授、星野幸一技官には心から深く感謝申し上げます。

附属農場で作業や調査にご助言、ご支援を頂き、苦楽を共にした雑賀正人さん、堀内宜彦さん、人見成朗さん、森島規仁さん、沖山毅さん、佐藤顕治さん、佐藤昭宏さん、会川香菜子さん、千葉清史さん、箕輪律子さん、斉藤奏枝さん、小番直樹さん、加藤治さん、星野未奈美さん、小松原未央さんや圃場管理など様々な面でご協力いただきました技術職員の方々に深く御礼申し上げます。また、ご迷惑を掛けつつも暖かく見守っていただいた両親、作物栽培学研究室の学生の皆様、二宮町の上野夫妻、そしてその他私を支えてくれた全ての皆様に、感謝。

## 引用文献

- 江原宏・森田脩・金子忠相・藤山堯然 1998. 異なる苗立ち密度条件下における散播水稻個体の生育と収量の補償作用. 日本作物学会紀事 67 : 11-19.
- 萩原素之・井村光夫・三石昭三 1990. 酸素発生剤を被覆した水稻種籾の近傍で起こる局所的土壌還元と発芽・出芽との関係. 日本作物学会紀事 59 : 56-61.
- 古畑昌巳・楠田幸・三原実 1998. 湛水直播における播種後の落水が出芽, 苗立ちに及ぼす影響. 日本作物学会紀事 67 : 256-257.
- 小林勝志・湯谷一也・伊藤邦夫 1995. 農用再生紙の水田マルチングによる雑草抑制と水稻栽培. 農業技術 50 : 168-173.
- 前田忠信 2001. 堆肥連年施用水田と化学肥料連年施用水田における低農薬栽培した水稻収量の年次変動とその要因. 日本作物学会紀事 70 : 525-529.
- 松村修・澤村篤・岩田俊昭・古川嗣彦 1996. 水稻無代かき作溝直播培土栽培の概要と特徴, 特に倒伏軽減効果について. 日作関東支部会報 8 : 17-18.
- 三石昭三 1990. 水稻の湛水土壌中散播栽培における苗立ち密度が生育・収量におよぼす影響. 三重大学生物資源附属農場研報 8 : 1-10.
- 三宅博・前田英三 1973. イネ葉身における維管束鞘内葉緑体の発達について. 日本作物学会紀事 42 : 107-108.
- 中村尚夫・水島嗣雄 1994. 水稻の一株植付本数の違いが収量構成要素および収量に及ぼす影響. 日本作物学会紀事 63 : 452-459.

尾形武文・松江勇次 1996. 北部九州における水稻湛水直播栽培に関する研究—第1報  
耐倒伏性の評価方法. 日本作物学会紀事 65 : 87—92.

岡部繭子・玉井富士雄・元田義春・武田元吉 2003. 播種深度ならびに栽植密度の相違  
が直播水稻の生育に及ぼす影響. 日本作物学会紀事 72 : 8—9.

佐々木良治 1999. 水稻の主稈下位節における節位別分げつの発生と収量. 北陸作物学  
会報 34 : 62—63.

佐藤勉 1974. 過酸化石灰による湛水直播水稻の出芽苗立安定化に関する研究—第2報  
過酸化石灰粉衣種子の埋没による出芽性と倒伏抵抗性向上について. 北陸作物学会報  
8 : 8—9.

澤村篤 1986. 代かき土壌硬度の簡易測定法. 農業および園芸 61 : 1109—1110.

柳沢憲作 1996. 落水出芽法による水稻湛水直播の出芽安定化—長野県飯山市の事例.  
農業および園芸 7 : 1297—1302.

山内稔 2001. 水稻の再生紙マルチ直播における苗立ちと収量. 日本作物学会紀事 70 :  
164—172.

吉永悟志・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・下坪訓次 2001. 打込み式代か  
き同時土中点播栽培による湛水直播水稻の耐倒伏性向上：播種様式および苗立ち密度  
が耐倒伏性に及ぼす影響. 日本作物学会紀事 70 : 186—193.